



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS DE PALMAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

**TELMA MARIA DO VALE**

**MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA PARA ESTIMAR A  
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA NO ESTADO DO  
TOCANTINS**

Palmas/TO  
2019

TELMA MARIA DO VALE

**MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA PARA ESTIMAR A  
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA NO ESTADO DO  
TOCANTINS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Agroenergia e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Dr. Erich Collicchio  
Coorientador: Dr. Balbino Antonio Evangelista

Palmas/TO  
2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

V149m Vale, Telma Maria do.

MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA PARA ESTIMAR A  
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA NO ESTADO DO  
TOCANTINS. / Telma Maria do Vale. – Palmas, TO, 2019.

87 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins  
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em  
Agroenergia, 2019.

Orientador: Erich Collicchio

Coorientador: Balbino Antonio Evangelista

1. Sojicultura. 2. Agrometeorologia. 3. Modelagem. 4. Cropgro-soybean. I.  
Titulo

**CDD 333.7**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer  
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.  
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184  
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

FOLHA DE APROVAÇÃO

**MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA PARA ESTIMAR A  
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA NO ESTADO DO TOCANTINS**

**ALUNA:** Telma Maria do Vale

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Presidente:**

\_\_\_\_\_  
Dr. Erich Collicchio (Presidente da comissão)  
UFT

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Balbino Antônio Evangelista – (Examinador Externo)

**EMBRAPA**

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Guilherme Benko de Siqueira (Examinador Interno)  
UFT

**Data da Defesa:** 25/06/2019

As sugestões da Comissão Examinadora e as Normas PGA para o formato da Dissertação foram contempladas:

\_\_\_\_\_  
Dr. Erich Collicchio (Presidente da comissão)  
UFT

*Dedico à minha “mamis poderosa” Isoraide  
Maria do Vale Clemente, você é minha luz e  
meu maior tesouro, teu exemplo me trouxe até  
aqui, te amo.*

*FORTIS FORTUNA ADIUVAT*  
*A sorte favorece os destemidos.*

*(Alexandre o Grande)*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, autor de toda obra e criatura vista, sentida e ouvida no mundo.

Aos meus companheiros de longas jornadas, Isoraide e Bruno, sangue do meu sangue, família que Deus me abençoou, mãe e irmão. Agradeço ainda a família que não é de sangue, mas soma com peso igual, Mauro Roberto e Stella.

Tenho uma dívida e uma gratidão imensa a meu Co-Orientador, supervisor, amigo e quase pai, Balbino. Sua dedicação a este trabalho, seu apoio constante deu-me forças para chegar a esta página com lágrimas nos olhos. Agradeço também a sua família que aos sábados cedeu sua companhia para as orientações extras, Daniele e Beatriz.

À Embrapa Pesca e Aquicultura que me forneceu subsídios, espaço e oportunidade. Em especial à equipe NTSA, Leonardo Campos, Rodrigo Munhoz, Rodrigo Veras, Jones Simon, Ivomar Oliveira e minha amiga/irmã Isabella Lopes Ribeiro, sempre me apoiando em campo, em escritório e por *whatsapp*, uma confidente.

Ao grande mestre e guru Santiago Vianna Cuadra da Embrapa Informática Agropecuária, grata por sua paciência, ensinamentos e todo apoio.

Ao senhor Pedro Libardi, família e funcionários, por nos acolher e gentilmente nos ceder espaço em sua fazenda para implantação do experimento.

Ao meu Orientador e amigo, Prof. Dr. Erich Collicchio. Grata por aceitar este desafio, por sua paciência e dedicação a este trabalho. Aos colegas do Laboratório LAMAM/UFT, cafezinhos, troca de experiências e ensinamentos, tenho orgulho de sermos companheiros, Rodrigo Barbosa e Fábio Gamba.

Ao Programa de Pós-Graduação Mestrado em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins. Aos colegas e amigos, Domingos Bonfim, Francis Bakon Ferraz. As colegas “Lambus”, Tássia Fernandes e Elisângela Fernandes, chegamos até o final apoiando umas às outras.

A minha amiga de todas as horas Luana Cristina Paludo, minha torcida gigante. As amigas da “Turma do Bairro”: Natália, Daniella, Bruna, Monica, Karine, Ozana e Lediane. E também ao amigo tão distante, mas não menos importante, Lefteris Linardos.

**Muito obrigada!**

## RESUMO

O uso da modelagem voltada ao setor agrícola é uma ferramenta que auxilia na compreensão dos processos e fenômenos ambientais relacionados ao desenvolvimento das culturas, podendo otimizar recursos e operações no planejamento agrícola, análises de viabilidade e rendimento. O objetivo deste estudo foi calibrar o modelo agrometeorológico Cropgro-soybean (DSSAT v. 47), bem como avaliar o desenvolvimento e o rendimento da cultura da soja em ambiente de cerrado na região tocantinense. Este trabalho foi dividido em três etapas: a primeira foi composta por uma revisão do tema proposto, apontando dos dados fenológicos de cultura a ser estudada e imersão de conhecimento acerca dos modelos agrometeorológicos; a segunda etapa referiu-se ao estudo para avaliar o desenvolvimento e componentes de rendimento da cultura da soja de duas cultivares, de ciclo precoce e tardio em duas épocas de semeadura; e na terceira etapa realizou-se a calibração do modelo Cropgro-soybean para avaliar o rendimento de duas cultivares de soja em duas épocas de semeadura, e ao final comparar os dados obtidos com os coletados em campo através de indicadores estatísticos que de são auxílio à tomada de decisão e na identificação dos parâmetros que melhor expressam a realidade por meio das simulações.

**Palavras-chaves:** Sojicultura. Agrometeorologia. Modelagem. Cropgro-soybean.

## **ABSTRACT**

The use of modeling for the agricultural sector is a tool that helps to understand the processes and environmental phenomena related to the development of crops, and can optimize resources and operations in agricultural planning, feasibility and yield analyzes. The objective of this study was to calibrate agrometeorological model Cropgro-soybean (DSSAT v 47), as well as to evaluate the development and yield of the soybean crop in cerrado environment in the region of Tocantins. This work was divided into three stages. The first one is composed of a revision of the proposed theme, pointing out the phenological data of the culture to be studied and immersion of knowledge about the agrometeorological models. The second stage is a study to evaluate the development and yield components of soybean cultivars of two cultivars and of early and late cycle in two sowing seasons. The third step is to calibrate the Cropgro-soybean soybean model to evaluate the yield of two soybean cultivars at two sowing times, in the end compare the data obtained with those collected in the field through statistical indicators that are an aid in decision making and in determining the parameters better compare reality with the simulations.

**Key-words:** Soybean crop. Agrometeorology. Modeling. Cropgro-soybean.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Figura 1. Evolução da área plantada (hectares) (a), produção (toneladas) (b) e produtividade (quilos por hectare) (c), no estado do Tocantins, no período entre 2001 a 2018..... | 18 |
| Figura 2. Distribuição aproximada dos grupos de maturidade relativa de cultivares de soja no Brasil, em função da latitude. ....   | 21 |
| Quadro 1. Identificação e descrição dos estágios de desenvolvimento da planta da soja .....  | 22 |
| Figura 3. Fotoperíodo ao longo do ano em função da latitude do local .....   | 24 |
| Figura 4 Fluxograma para calibração do modelo Cropgro-soybean.....   | 31 |

### ÁREA DE ESTUDO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Localização da área de estudo .....  | 32 |
| Figura 2. Vista geral da área experimental (a) e da estação meteorológica (b) .....                | 33 |
| Figura 3. Croqui do experimento instalado na Fazenda Boa Esperança em Aparecida do Rio Negro ..... | 35 |

### AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS AGRONOMICOS DE CULTIVARES DE SOJA PRECOCE E TARDIA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO TOCANTINS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Índices médios de temperatura mínima, média e máxima (°C) e precipitação (mm) obtidos para cada 7 dias durante o período de cultivo da soja. ....   | 44 |
| Figura 2. Número de nós (NN) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura.....     | 47 |
| Figura 3. Número de galhos (NG) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura.. ....                      | 48 |
| Figura 4. Diâmetro do caule (DC) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura..... | 49 |
| Figura 5. Altura de planta (Alt) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura..... | 50 |
| Figura 6. Massa da planta (MP) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2) Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares e maiúsculas comparam cultivares dentro das épocas de semeadura.....        | 50 |
| Figura 7. Número de vagens (NV) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura.....  | 51 |
| Figura 8. Massa de mil grãos (MMG) obtida das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam de épocas, e maiúsculas comparam cultivares dentro das épocas de semeadura.....              | 52 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 9. Rendimento por planta (RPP) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas e maiúsculas comparam cultivares dentro das épocas de semeadura.....   | 52 |
| Figura 10. Rendimento médio por área (RPA) em kg.ha <sup>-1</sup> das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura..... | 52 |

## **CALIBRAÇÃO DO MODELO DSSAT CROPGRO-SOYBEAN PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO DA SOJA CULTIVADA NO ESTADO DO TOCANTINS**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Valores mensais de temperatura mínima, média e máxima (°C) e precipitação acumulada (mm) semanal, período de 26/11/2017 a 12/04/2018, medidos na Fazenda Boa Esperança, município de Aparecida do Rio Negro – TO. .... | 66 |
| Figura 2. Dados de radiação solar diária acumulada (MJ) e umidade do solo (%) na profundidade de 0 - 30 cm, registrados nas duas épocas de plantio. ....   | 67 |
| Figura 3. O índice de área foliar (IAF) da cultivar Bônus nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época.....                        | 72 |
| Figura 4. Índice de área foliar (IAF) da cultivar BRS 8980 observado nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época.....             | 72 |
| Figura 5. Peso das folhas da cultivar Bônus observado nas duas épocas de cultivo ao longo do ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época.....                                | 73 |
| Figura 6. Peso das folhas da cultivar BRS 8980 nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época.....                                   | 74 |
| Figura 7. Peso do caule da cultivar Bônus nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época.....  | 75 |
| Figura 8. Peso do caule da cultivar BRS 8980 nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época.....                                     | 75 |
| Figura 9. Peso aéreo da cultivar Bônus nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época.....   | 76 |
| Figura 10. Peso aéreo da cultivar BRS nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época.....  | 77 |
| Figura 11. Peso dos grãos da cultivar Bônus nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época.....                                      | 78 |
| Figura 12. Peso dos grãos da cultivar BRS 8980 nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época.....                                   | 78 |

## LISTA DE TABELAS

### **AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS AGRONOMICOS DE CULTIVARES DE SOJA PRECOCE E TARDIA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO TOCANTINS**

- Tabela 1. Resumo da análise de variância entre os parâmetros: número de nós (NN), número de galhos (NG), diâmetro do caule (DC), altura das plantas (Alt), massa da planta (MP), número de vagens (NV), massa de mil grãos (MMG), rendimento por planta (RPP) e rendimento por área (RPA).....46
- Tabela 2. Análise de variância entre dos fatores, número de vagens (NV), número de grãos (NG), diâmetro do caule (DC), número de nós (NN) e altura das plantas (Alt), observados entre as cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO, semeadas em duas épocas, na safra 2017/2018..... 56
- Tabela 3. Análise de variância entre dos fatores, massa da planta (MP), massa de mil grãos (MMG), rendimento por planta (RPP) e rendimento por área (RPA), observados entre as cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO, semeadas em duas épocas, na safra 2017/2018.....56
- Tabela 4. Correlação entre os fatores, número de vagens (NV), número de galhos (NG), diâmetro do caule (DC), número de nós (NN), altura das plantas (Alt), massa da planta (MP), massa de mil grãos (MMG), rendimento por planta (RPP) e rendimento por área (RPA), observados entre as cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO, semeadas em duas épocas..... 57
- Tabela 5. Desenvolvimento fenológico das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO, em duas épocas de semeadura.. ..... 57

### **CALIBRAÇÃO DO MODELO DSSAT CROPGRO-SOYBEAN PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO DA SOJA CULTIVADA NO ESTADO DO TOCANTINS**

- Tabela 1. Parâmetros de entrada utilizados na calibração do solo Latossolo Vermelho-Amarelo da região, incorporados à base de dados do DSSAT v.47.....67
- Tabela 2. Descrição dos parâmetros genéticos das cultivares e unidades de medidas no modelo DSSAT Cropgro-soybean. ....66
- Tabela 3. Dados e valores dos parâmetros utilizados na calibração modelo DSSAT Cropgro-soybean para as cultivares Bônus IPRO e BRS 8980. .... 69
- Tabela 4. Parâmetros estatísticos avaliados no processo de calibração do modelo Cropgro soybean para as cultivares de soja Bônus IPRO e BRS 8980 em duas épocas de semeadura em propriedade representativa do Tocantins, sendo avaliadas as variáveis Índice de Área Foliar (IAF), peso seco das folhas, peso seco do caule, peso seco aéreo e peso seco dos grãos..... 71
- Tabela 5. Desenvolvimento fenológico das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO, em duas épocas de semeadura. ....79

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>1.1 Objetivos.....</b>  | <b>16</b> |
| 1.1.1 Objetivo Geral .....   | 16        |
| 1.1.2 Objetivos Específicos .....  | 16        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.1 Produção da soja no Brasil e no Estado do Tocantins .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>2.2 Aspectos ecofisiológicos da soja.....</b>   | <b>21</b> |
| 2.2.1 Aspectos mórficos da soja .....  | 21        |
| 2.2.2 Estádio de desenvolvimento da soja.....  | 23        |
| <b>2.3 Exigências agrometeorológicas da cultura da soja.....</b>   | <b>25</b> |
| 2.3.1 Efeito da temperatura e fotoperíodo no rendimento da soja.....   | 25        |
| 2.3.2 Necessidade hídrica e perda de água por evapotranspiração da cultura da soja.....  | 26        |
| <b>2.4 Modelagem aplicada à produção agrícola.....</b>   | <b>27</b> |
| 2.4.1 Modelos Empíricos.....   | 28        |
| 2.4.2 Modelos Mecanísticos .....   | 29        |
| 2.4.3 Modelo DSSAT e calibração Cropgro-soybean .....  | 30        |
| <b>3. ÁREA DE ESTUDO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....</b>   | <b>33</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>38</b> |
| <b>4. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS AGRONÔMICOS DE CULTIVARES DE SOJA PRECOCE E TARDIA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO TOCANTINS .....</b> | <b>44</b> |
| <b>4.1 Introdução .....</b>  | <b>45</b> |
| <b>4.2 Material e Métodos.....</b>   | <b>46</b> |
| <b>4.3 Resultados e Discussão .....</b>  | <b>48</b> |
| <b>4.4 Conclusões .....</b>  | <b>56</b> |
| <b>Referências .....</b>   | <b>60</b> |
| <b>5. CALIBRAÇÃO DO MODELO DSSAT CROPGRO-SOYBEAN PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO DA SOJA CULTIVADA NO ESTADO DO TOCANTINS .....</b>                 | <b>62</b> |
| <b>5.1 Introdução .....</b>  | <b>63</b> |
| <b>5.2 Material e Métodos.....</b>   | <b>64</b> |
| 5.2.1 Parâmetros de solos .....  | 66        |
| 5.2.2 Medidas biométricas das cultivares .....   | 66        |
| 5.2.3 Calibração do modelo DSSAT .....   | 67        |
| <b>5.3 Resultados e Discussão .....</b>  | <b>68</b> |
| <b>5.4 Conclusão .....</b>   | <b>82</b> |
| <b>Referências .....</b>   | <b>83</b> |
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>   | <b>86</b> |

## **ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

O presente trabalho foi organizado e apresentado em partes correlacionadas, obedecendo a sequência de execução do projeto de pesquisa desenvolvido com o apoio da da UFT e Embrapa, que resultou nesta dissertação de Mestrado.

Estruturalmente a dissertação foi dividida da seguinte forma: Introdução, Núcleo central do trabalho e Considerações finais.

Dentro do Núcleo central, organizou-se em três partes: Parte 1 - Fundamentação Teórica, Área de estudo e condução do experimento, e as Partes 2 e 3 referem-se aos artigos dois artigos científicos.

Na Parte 1 - Fundamentação Teórica e Área de estudo e condução do experimento, obteve-se o estado da arte por meio da revisão de literatura sobre o tema, para apoio no desenvolvimento e discussão dos resultados alcançados nos trabalhos subsequentes. Nessa parte foi realizada também uma apresentação geral da área de estudo, bem como o método da condução do experimento.

A Parte 2, refere-se ao artigo 1 intitulado: “Avaliação de parâmetros agronômicos de cultivares de soja precoce e tardia em diferentes épocas de semeadura na região central do Estado do Tocantins”.

A Parte 3, apresenta-se o artigo 2: “Calibração do modelo DSSAT Cropgro-soybean para avaliação do desenvolvimento e rendimento da soja cultivada no Estado do Tocantins”

## 1 INTRODUÇÃO

O setor agropecuário exerce um papel fundamental no cenário econômico brasileiro. E que, com os anos, cada vez mais sofre grande pressão para que além de gerar rendimentos, respeite a legislação ambiental e os critérios de sustentabilidade. É preciso integrar os preceitos de desenvolvimento social e de proteção ambiental à produção agrícola, integrando os diversos elos da cadeia produtiva. As tendências tecnológicas atuais mostram a adoção de ferramentas de planejamento, boas práticas agrícolas e de tecnologias inovadoras que considerem além da gestão de uma propriedade rural, também os aspectos socioambientais.

Com a expansão da soja, *commodity* de alto valor econômico, e com escala produtiva de alto valor comercial e econômico no âmbito da matriz econômica brasileira, tornou-se nas últimas décadas uma opção economicamente viável para a produção de biocombustíveis em larga escala, respondendo a duas demandas da sociedade, como a redução nas emissões de gases de efeito estufa e também a substituição do diesel mineral.

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma das culturas mais valiosas do mundo, pois constitui uma boa fonte de proteína animal e também componente da dieta humana (CHEN et al., 2012). Além disso, como uma importante semente oleaginosa de baixo teor de óleo, é utilizada como matéria prima para obtenção do biodiesel, gerando um subproduto utilizado na fabricação de ração animal.

Neste contexto, o Estado do Tocantins tem despontado no cenário nacional como um grande produtor de grãos. O Estado faz parte da região MATOPIBA – definida como interface entre os Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, foi responsável pela produção de aproximadamente 12,49 milhões de toneladas de grãos na safra 2016/2017, conforme dados da Conab (2017), o que representa cerca de 11% da produção nacional.

A expansão das culturas anuais em áreas de Cerrado, em especial da soja, vem ocorrendo majoritariamente sobre áreas de pastagem e já abertas para agricultura, sendo que cerca de 70% de toda a evolução de área plantada é de soja. Enquanto no MATOPIBA a ampliação ocorreu principalmente sobre áreas de vegetação natural, sendo que cerca de 2 milhões de hectares de vegetação natural foram convertidos em áreas de cultivo de soja (AGROSATÉLITE, 2015).

Para tanto, estimular a ocupação das áreas já abertas e identificar aquelas com maior potencial produtivo para agricultura faz-se cada vez mais necessário. Estimar a produtividade de uma região, com o uso de indicadores ambientais e sociais, podem auxiliar na tomada de decisão de uso da terra, sendo possível maximizar a produção e minimizar impactos ambientais.

Propõem-se neste estudo uma adaptação ao conceito de produção viável e eficiente, de modo a permitir seu emprego para região tocaninense e análise em escalas mais abrangentes. Para estimar a produtividade e produção agrícola de forma efetiva simulou-se as representações reais através dos modelos matemáticos, que segundo MUNIZ et al. (2007), são representações matemáticas dos fenômenos ao nosso redor, podendo eles ser em três tipos: empíricos, baseados em dados observados; estocásticos, embasados pelas leis da probabilidade; mecanísticos que consideram a física, química e biologia envolta nos processos de interação com o ambiente.

O uso de modelagem é disseminado em áreas agrônômicas e ambientais, pois é uma ferramenta que auxilia na concepção e entendimento de processos ou fenômenos, sua aplicabilidade visa em primícias, otimizar recursos e operações, planejamento agrícola, análises de viabilidade e risco climático ou ambiental.

Através do modelo mecanístico DSSAT Cropgro-soybean, é possível observar os processos de crescimento da cultura da soja, e ainda analisar a sensibilidade às variações genéticas entre as cultivares. Sendo assim esta é uma ferramenta que pode ajudar no planejamento e tomada de decisão, como por exemplo, em políticas públicas.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo calibrar e aplicar o modelo agrometeorológico DSSAT Cropgro-Soybean para estimar o rendimento da soja no Estado do Tocantins.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Calibrar o modelo agrometeorológico Cropgro-soybean (DSSAT v. 47) para estimar produção e rendimento da soja no Estado do Tocantins.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar o desenvolvimento e rendimento de duas cultivares de soja (precoce e tardia), por meio dos seus componentes de produção, cultivadas no Estado do Tocantins em duas épocas de semeadura;

- Calibrar o modelo DSSAT Cropgro-soybean para a estimativa da produtividade da cultura da soja no Tocantins;
- Avaliar e comparar os dados simulados com os dados observados em campo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Produção da soja no Brasil e no Estado do Tocantins

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é um dos principais grãos produzidos no mundo, com características proteicas (40% do peso seco) e oleaginosa (20% do peso). Estas características são exploradas principalmente para atender a finalidade de produção de óleo vegetal e alimentação animal (farelo). Mas, em sua cadeia de produção há ainda outras aplicabilidades, como a alimentação humana para a produção de biocombustíveis, cosméticos, papel, vernizes, tintas, plásticos e outros. Os múltiplos usos desta leguminosa tornam-na de elevado valor econômico, e aliado a versatilidade do cultivo em diversas condições ambientais, a soja tem apresentado constante desenvolvimento tecnológico, o que possibilitou o aumento da sua produtividade e expansão agrícola (OLIVEIRA et al., 2005).

Ainda, no contexto econômico brasileiro, a soja é a principal cultura em extensão de área plantada e em volume de produção, sendo que na safra 2018/19 foram plantados 35,8 milhões de hectares e produzidas 114,3 milhões de toneladas (CONAB, 2019). Segundo Agrostat (2019) para esta safra foram exportados os produtos da cadeia produtiva da soja, composto pelo grão, farelo e óleo, o correspondente a cerca de U\$ 31,7 bilhões, e destes, contam a exportação do grão, farelo e óleo.

O Estado que mais produz soja no Brasil é o Mato Grosso, com produção de 32,50 milhões de toneladas numa área plantada de 9,665 milhões de hectares na safra 2018/2019, seguido dos estados Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul, que na safra 2018/2019 somaram 58,15 milhões de toneladas, segundo a Conab (2019).

O Estado do Tocantins possui uma área de cerca de 27,8 milhões de hectares, dos quais 50% tem potencial para a produção agropecuária (TOCANTINS, 2016). Aproximadamente 93% do seu território pertence ao bioma Cerrado sendo bastante antropizada suas terras entre os rios Tocantins e Araguaia, onde o bioma é amplamente explorado devido principalmente à expansão agrícola.

A produção de grãos no Tocantins foi crescente no período de 1988 a 2019, que atingiu de 4,6 milhões de toneladas para a safra de 2018/2019 (CONAB, 2019). Os principais grãos cultivados nesse período foram a soja, arroz, feijão e o milho, com destaque para o crescimento das áreas plantadas de soja e milho safrinha, nas últimas safras. Atualmente, entre as culturas de grãos mais plantadas no Estado, tem-se a soja em

primeiro patamar tanto em área de cultivo, quanto em produção, seguidas do milho safrinha, arroz e feijão (FRAGOSO; CARDOSO, 2019; CONAB 2019).

O crescimento do cultivo de soja no Estado foi muito significativo, atingindo mais de 1.500%, quando considerado o período compreendido entre as safras de 2000/2001 a 2018/2019, das quais, a área de produção evoluiu de 60 mil ha para 1.031,6 mi ha, respectivamente (CONAB, 2019).

Ao analisar o período entre as safras entre 2001 e 2018 (Figura 1), observou-se um constante crescimento em área plantada, produção de grãos e produtividade de soja no estado do Tocantins, que acompanhou e até mesmo superou a evolução nacional, excetuando a safra 2015/2016, onde as condições climáticas com restrições hídricas penalizaram os rendimentos desta safra, bem como em outras regiões do País.

Além do constante avanço produtivo, o Estado tem destaque também quanto ao sistema de plantio utilizado na região conforme destaca Borghi et al. (2014), o sistema de plantio direto é bastante difundido no Tocantins, ressaltam-se os benefícios ao solo da lavoura, a considerável diminuição da adubação, além das vantagens econômicas e de sustentabilidade.

Destaca-se ainda que o Estado tem importante participação no Plano ABC (Plano de Agricultura de Baixa emissão de Carbono), celebrado entre o governo federal e demais esferas governamentais e instituições de pesquisa e colaboradores, visando a mitigação e adaptação das mudanças climáticas nas práticas agrícolas. Dentre as ações presentes no Plano destacam-se: a redução das taxas de desmatamento em 40% no Cerrado, ampliar o Sistema de Plantio Direto, e incentivar o uso de biocombustíveis e oferta de fontes alternativas de biomassa.

A soja representou cerca de 83% das exportações do Estado do Tocantins em 2018, os grãos são comercializados *in natura* para países como China e Espanha. Outra pequena fração é destinada às usinas de produção de biodiesel no Estado, como a Indústria, Comércio e Exportação S/A (Granol), localizada em Porto Nacional e para a Companhia Produtora de Biodiesel do Tocantins, em Paraiso do Tocantins (Biotins) (ZUNIGA et al., 2015).

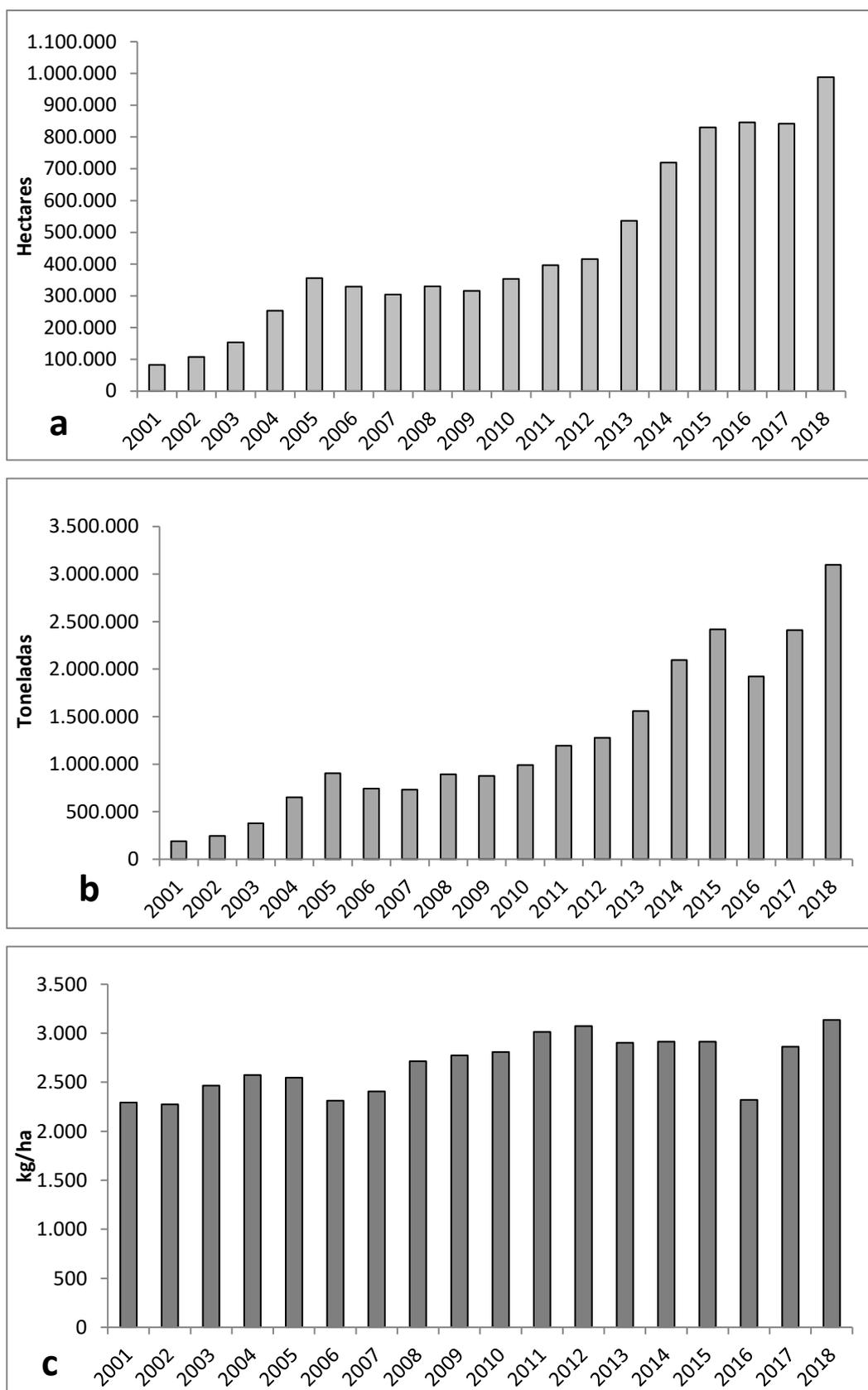


Figura 1. Evolução da área plantada (hectares) (a), produção (toneladas) (b) e produtividade (quilos por hectare) (c), no estado do Tocantins, no período entre 2001 a 2018. Fonte: Adaptado de CONAB, 2019

## 2.2 Aspectos Ecofisiológicos da Soja

A ecofisiologia vegetal estuda a interação da planta com o seu meio, sendo a ciência aplicada específica à padrões básicos de funcionamento dos processos nas células vegetais e na planta como um todo, ou ainda, a integração da planta com o ambiente (SOUZA, 2012).

A caracterização dos estágios de desenvolvimento da planta de soja é importante para obtenção de informações essenciais, para o bom desempenho da altura, tais como: a descrição a duração dos períodos ou fases fenológicas, e do seu ciclo; ter conhecimento do seu comportamento e desenvolvimento, de como a oferta e demanda de água pode impactar na produção; permitir e decidir acerca da aplicação de técnicas e práticas nos momentos em que poderão proporcionar máxima eficiência produtiva (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007). A caracterização das condições ambientais, contribuem para compreensão do processo produtivo e na identificação de meios de minimizar o impacto das adversidades na produção da soja, bem como de demais culturas agrícolas.

### 2.2.1 Aspectos morfológicos da soja

A morfologia vegetal tem como objetivo estudar e entender a estrutura das plantas, dando embasamento à classificação destas. A soja, segundo Nepomuceno; Farias; Neumaier (2018), é uma planta herbácea da classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine L.*, espécie max. É uma leguminosa dicotiledônea herbácea de grande diversidade genética e mórfica, graças a elevada quantidade de variedades e cultivares (RODRIGUES, 2010).

A planta da soja é considerada de ciclo anual, apresentando porte ereto, autógama, com estatura de 30 a 200 cm (ideal é de 60 a 110 cm para lavouras comerciais). A soja possui variabilidade quanto às características morfológicas, sofrendo influência das condições ambientais (COSTA, 2015). O crescimento e o desenvolvimento da soja são medidos pela quantidade de sua massa seca (matéria seca) acumulada (ABPPF, 2000).

Ainda, quanto à sua estrutura, a planta da soja apresenta sistema radicular pivotante, ou seja, suas raízes se dispersam no solo a partir da haste do caule, onde há

uma raiz principal bem desenvolvida, e raízes secundárias dispersas e ricas em nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (COSTA, 2015).

Dentre as principais variedades comerciais, as plantas possuem caule hispido, pouco ramificado e raiz com eixo principal e muitas ramificações laterais (NEPOMUCENO; FARIAS; NEUMAIER, 2018). O caule herbáceo, ereto com porte variável de 0,60 m a 1,50 m, pubescentes de pelos brancos, parcedaneos ou tostados (COSTA, 2015).

Possuem folhas trifolioladas, com exceção do primeiro par de folhas simples, localizado no nó acima do nó cotiledonar (NEPOMUCENO; FARIAS; NEUMAIER, 2018). Costa (2015) cita que as folhas são alternadas ao longo do eixo do caule, com características longas pecioladas, compostas de três folíolos ovalados ou lanceolados, de comprimento variável entre 0,5 a 12,5 cm. Na maior parte das variedades da planta, as folhas amarelam à medida que os frutos amadurecem e, caem quando as vagens estão maduras (CARVALHO, 2014).

As flores da soja são de fecundação autógama (autofecundação) e possuem coloração branca, purpura diluída ou roxa variando de 3 a 8 mm de diâmetro. Conforme Nepomuceno; Farias; Neumaier (2018), a floração da soja responde ao nictoperíodo, ou duração da noite, em “dias longos” ocorre atraso no florescimento, o que afeta seu ciclo, alongando-o.

Os frutos da soja são vagens oblongas, pubescentes e tem comprimento de 25 a 75 mm, sendo levemente arqueadas e ao seu desenvolvimento amadurecem mudando de cor, indo do verde ao amarelo-pálido, marrom-claro, marrom ou cinza, e sua vagem contém de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, de tegumento amarelo pálido, com hilo preto, marrom ou amarelo-palha (COSTA, 2015; NEPOMUCENO; FARIAS; NEUMAIER, 2018).

As cultivares de soja são classificadas pelo tipo do hábito de crescimento, podendo ser crescimento indeterminado (sem racemo terminal), determinado (com racemo terminal) ou semideterminado ou intermediário (NEPOMUCENO; FARIAS; NEUMAIER, 2018).

Quanto à classificação do ciclo de maturação, a caracterização é feita de acordo com a adaptabilidade que uma cultivar possui ao utilizar efetivamente as fases de crescimento de uma dada região (ABPPF, 2000). Num ciclo precoce, médio ou tardio, dependendo do tipo de cultivar e da data de semeadura, poderá ocorrer alterações e de

características como duração entre os estádios de desenvolvimento, o número de folhas formadas e a altura da planta dentre outras implicações.

No Brasil, as cultivares brasileiras são classificadas de acordo com os grupos de maturação relativa (GMR), baseadas no ciclo e na região do cultivo em função da latitude (EMBRAPA, 2010), como pode ser observado na Figura 2, que ilustra a distribuição aproximada da cultura da soja e dos grupos de maturação de cultivares predominantes.

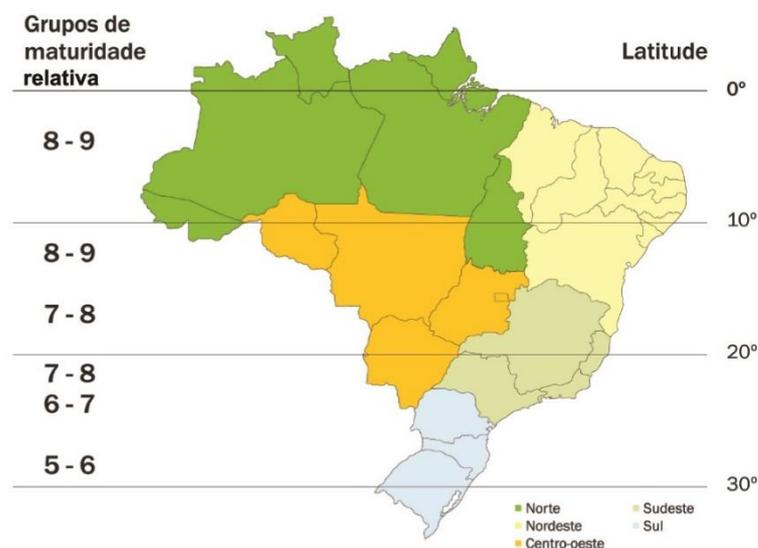


Figura 2. Distribuição aproximada dos grupos de maturidade relativa de cultivares de soja no Brasil, em função da latitude. Fonte: Adaptado de Alliprandini et al. (2009).

A classificação do grupo de maturação varia de zero a 10, ou seja, quanto maior for o seu número, mais próximo ao Equador será sua região de adaptação. Cada GMR se adapta melhor em determinada faixa de latitude, de acordo com sua resposta ao fotoperíodo, variando de acordo com a quantidade de horas/luz a que é exposta (PENARIOL, 2000).

### 2.2.2 Estádio de desenvolvimento da soja

A fenologia estuda as diferentes fases do crescimento e desenvolvimento das plantas, que compreende a germinação e emergência inicial, fase vegetativa ou desenvolvimento da parte aérea e raízes, e a reprodutiva, de vai desde o florescimento, frutificação e a maturação. O conhecimento da fenologia de uma espécie cultivada torna-se uma ferramenta eficaz de manejo, onde através da observação das características

morfológicas da planta, identifica-se o momento fisiológico, quando as necessidades do vegetal são atendidas, permite o bom desenvolvimento e rendimento da cultura (CÂMARA, 2006).

A descrição dos estágios de desenvolvimento da soja, segundo Farias; Nepomuceno; Neumaier (2007), deve ser única, objetiva, precisa e universal, com a capacidade de descrever qualquer cultivar. Para tanto, a metodologia descritiva dos estágios de desenvolvimento mais utilizada no mundo é a de Fehr; Caviness (1977), pois apresenta as características anteriormente citadas.

A escala fenológica de Fehr; Caviness (1977) apresentada no Quadro 1, foi elaborada para a identificação nos estádios de desenvolvimento da planta de soja, que são divididos em vegetativos (V) e reprodutivos (R). Os estágios vegetativos iniciais são descritos por: VE (vegetativo-emergência) e VC (vegetativo-cotilédone), conseguinte estes estágios são descritos por letra e número como V1, V2, V3 etc, conforme os estágios avançam e a planta cresce. Os estágios reprodutivos são representados por letra e número, indicando o estágio específico de cada fase de desenvolvimento como R1, R2, R3 e etc (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Quadro 1. Identificação e descrição dos estágios de desenvolvimento da planta da soja

| <b>Estádios</b> |                                   | <b>Descrição</b>   |
|-----------------|-----------------------------------|--|
| VE              | Emergência                        | Os cotilédones estão acima da superfície do solo.  |
| VC              | Cotilédone                        | Cotilédones totalmente abertos.  |
| V1              | Primeiro nó                       | As folhas unifolioladas estão completamente abertas  |
| V2              | Segundo nó                        | Primeira folha trifoliolada aberta.  |
| V3              | Terceiro nó                       | Segunda folha trifoliolada aberta.   |
| V(n)            | Enésimo nó                        | “Enésimo” nó ao longo da haste principal com trifólio aberto.  |
| R1              | Início do florescimento           | Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal.   |
| R2              | Pleno florescimento               | Maioria das inflorescências da haste principal com flores abertas.   |
| R3              | Início da formação das vagens     | Vagens com 0,5 a 1,5 cm de comprimento no terço superior da haste principal.                                   |
| R4              | Plena formação das vagens         | Vagens com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com a folha completamente desenvolvida.          |
| R5              | Início do enchimento das sementes | Vagens com grãos de 3 mm de comprimento em num dos 4 últimos nós do caule, e folha completamente desenvolvida. |
| R6              | Pleno enchimento das vagens       | Vagens com grãos verdes, em um dos quatro últimos nós do caule, e folhagem completamente desenvolvida.         |
| R7              | Início da maturação               | Vagens completas com coloração madura.   |
| R8              | Maturação plena                   | 95% das vagens madura.   |

Fonte: Adaptado de Fehr; Caviness, (1977)

## 2.3 Exigências agrometeorológicas da cultura da soja

A produtividade de uma cultura é definida pela interação entre a planta, o ambiente de cultivo e o sistema de manejo. Em condições ambientais favoráveis em todos estádios de desenvolvimento da soja, espera-se elevadas produtividades (SILVEIRA NETO et al., 2005).

Os fatores que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja são a disponibilidade hídrica, o fotoperíodo e a temperatura do ar (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

### 2.3.1 Efeito da temperatura e fotoperíodo

A temperatura é um fator abiótico importante no desenvolvimento da soja, e atua diretamente em todas as fases da cultura, tais como: germinação, crescimento, floração, frutificação; especialmente nos processos de respiração, fotossíntese e na absorção de água e nutrientes. A temperatura ideal adequada para o desenvolvimento da cultura varia de entre 20°C a 30°C. A temperatura ideal à emergência da plântula é de 25°C, e abaixo ou igual a 10°C, o crescimento vegetativo reduz, assim como acima de 40°C, provoca adversidades na taxa de crescimento, floração e desenvolvimento das vagens (EMBRAPA, 2018).

O fotoperíodo e a sensibilidade da soja a ele, é outro fator de importante relevância, principalmente para adaptabilidade maior da cultura, podendo acarretar diferentes datas de floração entre cultivares numa mesma época de semeadura. Distintas cultivares em diferentes regiões, além das demandas e exigências hídricas e térmicas, têm também a fotoperiódica, que varia de acordo com a demanda de cada cultivar (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007). Os mesmos autores afirmam que a faixa de adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que se desloca para o norte ou para o sul, como demonstrado na Figura 3. Nesta figura observa-se que o fotoperíodo varia em função da latitude local, sendo que, quanto mais próximo à linha do Equador, menor é a amplitude do fotoperíodo no decorrer do ano. As cultivares que possuem “período juvenil longo” têm maior adaptabilidade e, alcançam maiores faixas nas latitudes locais e nas épocas de semeadura, fazendo com que permaneçam na fase vegetativa por mais tempo,

que as cultivares tradicionais nos dias curtos, entretanto, podem florescer mais cedo em dias longos.

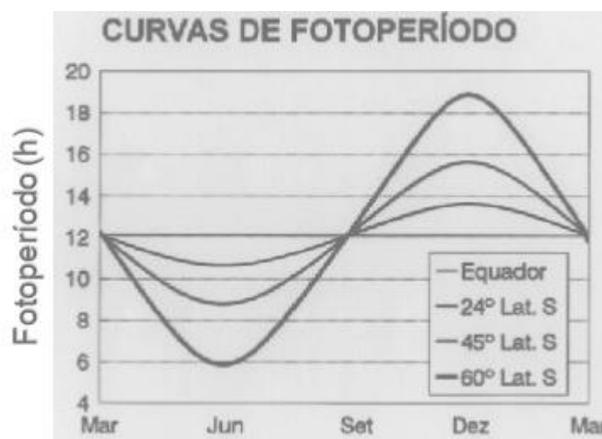


Figura 3. Fotoperíodo ao longo do ano em função da latitude do local.  
Fonte: Adaptado de Farias; Nepomuceno; Neumaier (2007).

### 2.3.2 Necessidade hídrica e perda de água por evapotranspiração

A água é o constituinte principal da soja, representando cerca de 90% do peso total da planta, e ainda, está presente em quase todos os seus processos fisiológicos e bioquímicos. Tem função essencial na planta como solvente, onde os elementos como gases, minerais e demais compostos que estão presentes na planta. Ainda desempenha função térmica, agindo no resfriamento e na distribuição de calor na planta (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

A indisponibilidade de água pode afetar a cultura da soja, desde a germinação até o florescimento, enchimento de grãos na qualidade da semente (MANAVALAN et al., 2009). Caso fosse obtida uma resposta hídrica satisfatória e não ao fator limitante da produtividade, os outros fatores de produção da cultivar aumentariam de forma significativa (EVANGELISTA et al., 2017).

Na soja, a disponibilidade de água é importante especialmente em duas fases de seu desenvolvimento, durante a germinação-emergência e na floração-enchimento de grãos, nestas fases tanto o excesso quanto a escassez de água podem penalizar a cultura. Para satisfazer o rendimento máximo, durante todo o ciclo da cultura a planta necessita de 450 a 800 mm, variando de acordo com as condições climáticas, manejo e da duração do ciclo (EMBRAPA, 2018).

Quando ocorrem veranicos na estação chuvosa e nas fases de desenvolvimento da cultura, podem ocasionar grandes perdas para o agricultor, o que reflete na produção agrícola e sendo a soja um importante *commodity* para o País, afeta também a balança econômica nacional (EVANGELISTA et al., 2017).

Elementos como a resposta hídrica, temperatura interferem no processo de evaporação de água do solo, a transpiração das plantas ocorre simultaneamente, porém podem ser tratados como processos independentes (EMBRAPA, 2018).

Conforme Soares et al. (2001), para determinar a demanda de água necessária para atender às necessidades da cultura, é imprescindível conhecer parâmetros que auxiliem neste processo, como dados físico-hídricos dos solos, fisiologia da cultura e o coeficiente de cultura ( $K_c$ ), sendo que este último expressa o consumo de água da planta. O  $K_c$  é determinado pela razão entre evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ).

Farias et al., (2001) apontam que o consumo de água pela cultura da soja varia de acordo com o estágio de desenvolvimento e também da demanda evaporativa, podendo ter seu valor absoluto variando, de acordo com a evapotranspiração atmosférica.

## **2.4 Modelagem aplicada à produção agrícola**

A modelagem na agricultura, ou ainda na agricultura de precisão, envolve o uso de dados espaciais de alta qualidade, das plantas e do solo entre outras informações, com objetivo de aprimorar a tomada de decisão baseando-se no uso da tecnologia da informação, para que isto melhore as técnicas de manejo da cultura no campo (SANTOS et al., 2001).

A modelagem agrícola utiliza-se de simulações e aplicações aos sistemas agrícolas, como os cenários climáticos. Mello; Caimi (2008) apontam que o uso da simulação contribui antecipando experiências de observação do comportamento e da cooperação entre os componentes do sistema, o que pode reduzir o tempo e o custo geral de um projeto.

Conforme Bernardes (2000), integrando os diversos fatores determinantes a produtividade de culturas, a partir da modelagem matemática há uma simplificação dos sistemas reais ao integrar os diferentes conhecimentos nas mais diversas áreas, analisando os aspectos da produção agrícola em resposta à sua interação com o meio ambiente.

Dourado-Neto et al. (1998), ressalta que há uma ideia de que um modelo possa fornecer o conhecimento que não se tem sobre um sistema, pelo contrário, o intuito da modelagem é produzir uma ferramenta que possa ser usada para testar hipóteses, gerar hipóteses alternativas, sugerir experimentos, refutá-las e, ademais, prever o comportamento do sistema em situações desconhecidas. Os mesmos autores ainda afirmam que além da importância científica, das simulações práticas, há ainda a elaboração de políticas agrícolas e de zoneamento, além dos vários ramos de atividade agrícola.

Em modelagem de culturas agrícolas, a compreensão dos processos biofísicos e interações com processos no sistema de produção agrícola são fundamentos para a modelagem e, com esses princípios, vários sistemas de suporte a decisão agem como ferramenta de suporte a gestão de um setor agrícola (MARIN, 2016). Uma dessas ferramentas consagradas pela literatura científica em testes de hipóteses acadêmicas é o uso de modelos de crescimento de plantas (MCP) (ROSENZWEIG et al., 2013). Os MCP utilizam de análise probabilística aplicadas em análises de incertezas associadas aos resultados obtidos a partir de dados de entrada e parâmetros de saída (RÖTTER et al., 2011).

Como existem vários tipos de classificação de modelos, didaticamente (THORNLEY; JOHNSON, 1999), dividiram em modelos empíricos e mecanísticos. Segundo Marin (2016), modelos empíricos são as relações matemáticas descritas a partir da observação do sistema através de informações biológicas ou conhecimento do sistema estudado, consistindo em uma ou mais equações associadas, com características locais de difícil extrapolação; já os modelos mecanísticos têm embasamento na física dos processos fisiológicos envolvidos no crescimento da cultura, sendo mais complexos que os empíricos, mas que oferece uma gama maior de fenômenos, o que o torna por oferecer mais respostas a aplicabilidade.

#### 2.4.1 Modelos empíricos

Na modelagem empírica, tem-se como exemplo dois modelos com grande relevância em aplicações na agricultura: o modelo da FAO (Food and Agriculture Organization), e outro o Sistema de Análise Regional de Risco Agroclimático – SARRA, aplicado nos estudos de zoneamento de risco climático pela Embrapa e MAPA.

A FAO recomenda o Método das Zonas Agroecológicas, que segundo Doorenbos; Kassam, (1979) considera as variáveis: fotoperíodo, temperatura do ar e radiação solar global para estimar produtividade potencial e produtividade atingível das culturas. Conforme Barbosa et al. (2006), o modelo compara regiões quanto aos aspectos climáticos em uma escala geográfica, e ainda a variabilidade interanual do clima de uma mesma região.

O modelo SARRA, Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques (Sistema de Análise de Riscos Agroclimáticos), desenvolvido por Baron; Precez; Maraux (1996) é um modelo simples, que simula o desenvolvimento da planta em função do consumo de água e disponibilidades hídricas do solo, com funções relativas ao sistema solo-clima-planta através de regressão matemática, requerendo poucas variáveis de entrada, isso facilitando sua aplicação numa escala regional.

O modelo SARRA gera entre outros, o índice de satisfação das necessidades hídricas (ISNA) da cultura, através da relação calculada a evapotranspiração real (ETR) e a evapotranspiração máxima da cultura (ETM). Este índice expressa a relação entre a oferta e demanda de água da planta e também pode ser aplicado indiretamente, para a estimativa de produtividade potencial da cultura (EVANGELISTA, 2011).

#### 2.4.2 Modelos mecânicos

De acordo com Marin (2016), um dos desafios nessa linha de pesquisa seria a incorporação da simulação estocástica, o que permitiria conhecer como a incerteza dos dados de entrada se propaga nas variáveis de saída do modelo.

Talacuece (2014), cita os principais modelos de crescimento de plantas (MCP) para avaliação de desenvolvimento e rendimento da soja, dentre esses: APSIM (Agricultural Production Systems Simulator), de solo-cultura STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard) e DSSAT/Cropgro-soybean.

O APSIM - Agricultural Production Systems Simulator (na tradução livre *Simulador de Sistemas de Produção Agrícola*) foi desenvolvido pela Unidade de Pesquisa de Sistemas de Produção Agrícola na Austrália, tendo a função de simular o processo biofísico nos sistemas agrícolas – em particular quando há interesse nos resultados econômicos e ecológicos da prática de gestão do risco climático (KEATING et al., 2003). Os autores ainda descrevem a estrutura de modelagem modular, incluindo diversas culturas, pastagens e árvores, processos do solo, equilíbrio hídrico, as transformações N e P, o pH do solo, a erosão e ainda as extensas técnicas de manejo.

O STICS – Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard (na tradução livre *Simulador Multidisciplinar para Culturas Padrão*) foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisa Agrícola (INRA), da França, e é um modelo de operação de cultivo em etapas de tempo diário, desenvolvido pelo INRA desde 1996. É uma ferramenta de simulação das condições agrícolas, voltado à produção (quantidade e qualidade) e o meio ambiente, simulando o crescimento, o desenvolvimento da cultura e o equilíbrio de água e nitrogênio do sistema solo-colheita. O simulador é constituído por sete módulos, que são: desenvolvimento, crescimento de lançamentos, componentes de produção, crescimento radicular, balanço hídrico, ambiente térmico e balanço de nitrogênio, entretanto o simulador não considera como a resistência à seca e à volatilização amoníaca (BRISSON et al., 1998).

O DSSAT – Decision Support System for Agrotechnology Transfer (*Sistema de Apoio à Decisão para Transferência de Agrotecnologia*) é um modelo de sistema de cultivo que simula o crescimento e desenvolvimento de uma cultura ao longo do seu período de crescimento, assim como a água do solo, processos de carbono e práticas de manejo. Os módulos primários (solo, clima e planta), que simulam individualmente os vários processos que afetam a unidade de terra, incluindo o tempo, o crescimento das plantas, processos do solo, práticas de ambiente solo-planta de interface e manejo. Já os submódulos operam exatamente são níveis adicionais de módulos primários, como o Cropgro, Nitrogênio e Irrigação e Doenças e Pragas.

A diferenciação entre os modelos citados acima, pode ser observada tanto na sua estrutura, quanto na entrada dos dados e na análise de sensibilidade, que faz com que se diferenciem em determinados parâmetros, ao comparar os resultados de um modelo com o outro. Segundo Marin et al. (2015), simular e testar os modelos em uma região garantiria um aperfeiçoamento do modelo à determinada cultura, ou ainda a aplicação de múltiplos modelos para usar a média ou a mediana de um conjunto de preditores.

#### 2.4.3 Modelo DSSAT e calibração Cropgro-soybean

Desenvolvido através projeto IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer - Rede Internacional de Sites de Referência para Transferência de Agrotecnologia) de 1981 a 1992, em parceria com a Universidade do Havaí, Universidade da Flórida, Universidade de Guelph, Universidade de Porto Rico, Universidade Estadual de Michigan, Centro Internacional de Fertilizantes e USDA-ARS. Após o fim do projeto IBSNAT, o avanço em pesquisa e no desenvolvimento da

plataforma DSSAT continuou devido ao interesse da comunidade científica e de setores públicos e privados (DSSAT, 2019).

Atualmente a equipe principal de desenvolvedores da plataforma inclui um grupo de cientistas da Universidade da Flórida, o Centro Internacional de Desenvolvimento de Fertilizantes e o Serviço de Pesquisa Agrícola do USDA.

O DSSAT é uma plataforma de aplicação de software, sendo que dentro deste há os modelos de simulação de crescimento de culturas, para mais de 42 culturas (a partir da Versão 4.7), com ferramentas que facilitam o uso efetivo dos modelos. Tais ferramentas incluem programas de gerenciamento de banco de dados para solo, clima, gerenciamento de culturas e dados experimentais, utilitários e programas aplicativos (DSSAT, 2019).

O banco de dados já incluso na plataforma do software incluem dados de 42 cultivares com dados fisiológicos e mórfofisiológicos das plantas. As informações de solo inclusas na plataforma são de solos dos EUA (região onde o programa foi desenvolvido). Entretanto é possível cadastrar outros dados de solos no banco de dados, com amostras de solo contendo dados químicos e físicos e estruturais.

Dentro da plataforma DSSAT, o submódulo Cropgro analisa os processos de crescimento de culturas, incluindo; fenologia, fotossíntese, azoto na planta e a assimilação de carbono, particionamento de fotoassimilados, e danos como doenças e pragas, este ainda tem um submódulo de fenologia como o Soybean, que é específico para a soja.

O modelo de simulação de desenvolvimento e rendimento do DSSAT Cropgro-soybean considera diferentes sensibilidades à temperatura e ao fotoperíodo durante diferentes estádios de desenvolvimento da cultura e/ou para diferentes cultivares (SALMERÓN; PURCELL, 2016). Este modelo, segundo Dallacort et al. (2006), apresenta alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos, mostrando variação entre as diferentes cultivares.

O DSSAT calcula a evapotranspiração através do método Priestley; Taylor (1972), balanço hídrico da cultura e transpiração da planta, além dos processos referentes ao solo, como fluxos de água em um perfil e taxas de evapotranspiração Ritchie et al. (1990). Cada submódulo do sistema do DSSAT que avalia determinada cultura considera de maneira diferente o ciclo de desenvolvimento, para tanto, são divididos em: semeadura à emergência, emergência à primeira antese e da primeira antese a maturação fisiológica completa (ROLIM et al., 2001).

Ainda, conforme Rolim et al. (2001), ao calcular o estresse hídrico diário de uma cultura, o modelo estima a razão entre a taxa de absorção de água e a transpiração

demandada, sendo esta taxa de absorção dependente do volume extraído do solo, além da profundidade e da densidade do sistema radicular da planta.

Vale destacar que a sistematização e os processos de absorção e concentração de nitrogênio pela planta, também são considerados e avaliados pelo modelo, bem como demais ferramentas de gestão de cultivo, tais como: adubação, os processos de irrigação, fertilizantes, carbono orgânico e matéria orgânica presentes no solo.

Há uma gama de trabalhos com diferentes culturas e diferentes objetivos, o DSSAT tem bastante aplicabilidade no seu uso, tais como; risco climático (ROLIM et al., 2001; SOUZA, 2013; EVANGELISTA, 2017), simulação de épocas de semeadura (DALLACORT et al., 2006; EVANGELISTA, 2011), avaliação, calibração e respostas a produtividade (NASSIF et al., 2012; LIMA FILHO et al., 2013; BATTISTI, SENTELHAS, 2015) e usos mais específicos (SILVA et al., 2002; MARTORANO et al., 2008; SILVA et al., 2012).

O modelo DSSAT Cropgro-soybean foi desenvolvido para estimar o desenvolvimento e rendimento das lavouras de soja cultivadas nos diferentes ambientes ou regiões produtoras. Mas, devido ao seu grande número de parâmetros ou variáveis, e cada um com valor fixo para todas as localidades, cultivares ou períodos, podem ocorrer erros acumulados e com isso, incorrer em resultados muito diferentes daqueles que ocorrem no campo.

A calibração do modelo (Figura 4), consiste no ajuste de alguns ou de todos os parâmetros do modelo para comparação entre os dados modelados e aqueles medidos em campo (WALLACH et al., 2001). Ou ainda, é um ajuste de parâmetros do sistema, de modo que os resultados simulados pelo modelo cheguem a um nível geralmente baseado em observações de campo.

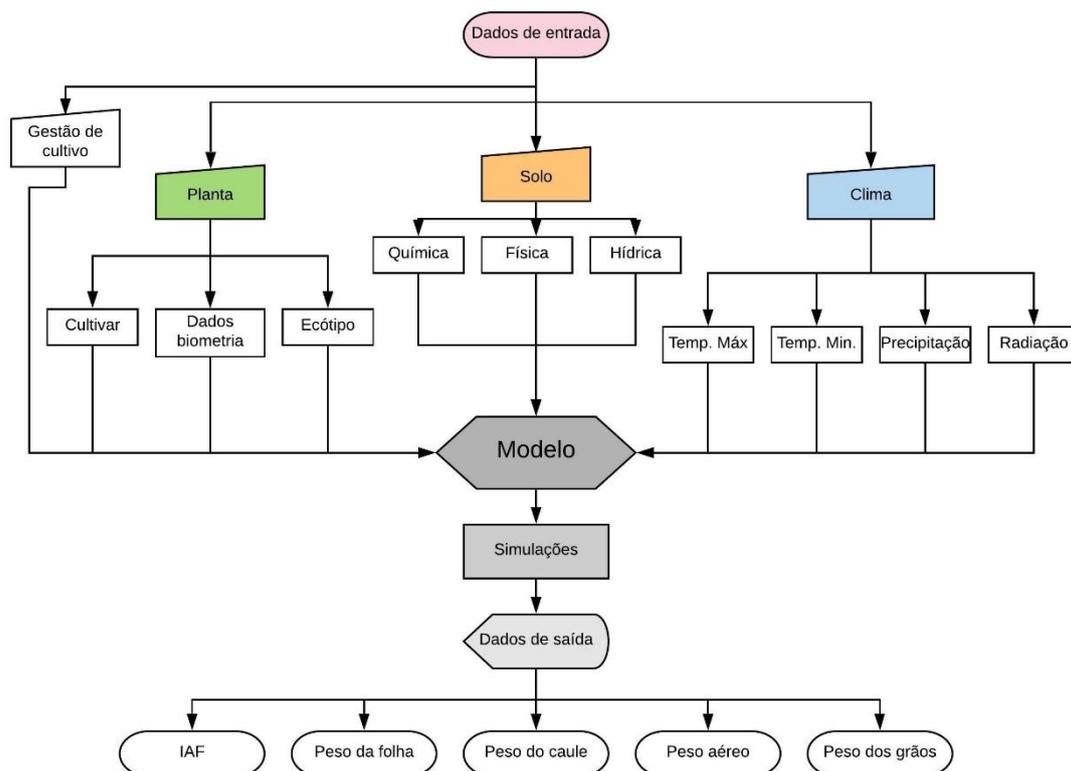


Figura 4. Fluxograma para calibração do modelo Cropgro-soybean.

Por outro lado, nem sempre é possível avaliar o erro, precisão ou sensibilidade de todas os parâmetros. Nesse caso, Drechsler (1998) e Wallach et al. (2001) sugeriram ou escolher um número reduzido de parâmetros para serem ajustados e, em seguida, realizar o ajuste dos demais, ou ajustar os parâmetros mais sensíveis do modelo, selecionando-os com base em análise de sensibilidade.

### 3. ÁREA DE ESTUDO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na safra 2017/18, em uma área experimental localizada na Fazenda Boa Esperança, no município de Aparecida do Rio Negro na região central do estado do Tocantins (10°00'41''S, 48°09'25''W e altitude de 535 m), conforme a Figura 1.

A região apresenta classificação climática Aw (KÖPPEN, 1936), caracterizada por clima tropical seco, apresentando temperatura média anual de 26,6 °C e pluviosidade

média anual de 1.619 mm. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-amarelo distrófico típico (SANTOS et al., 2013).

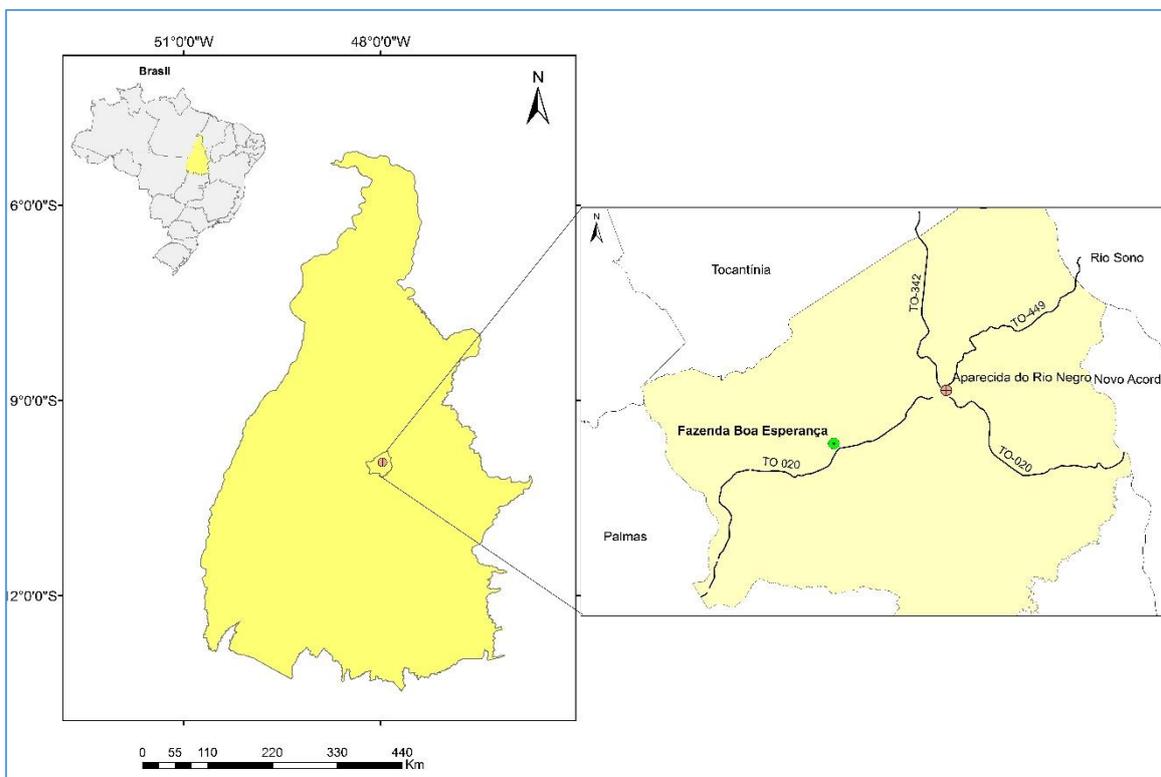


Figura 11. Localização da área de estudo

Para a obtenção de estimativas de produtividade da cultura da soja para o Estado do Tocantins, utilizou-se o modelo agrometeorológico de crescimento da cultura DSSAT Cropgro-soybean. Trata-se de um modelo de simulação de desenvolvimento e rendimento de plantas, utilizado para a obtenção das estimativas de produtividade da cultura da soja.

Por se tratar de um modelo mecanístico, devido à sua complexidade e nem sempre fácil aplicação regional, é necessário realizar a calibração do modelo.

Para a simulação de rendimento da cultura, o modelo cropgro-soybean requer dados de entrada relativos ao clima, solo e da planta, a partir das observações e medidas de campo.

Neste sentido foi conduzido um experimento com a cultura da soja, com duas cultivares plantadas em duas épocas distintas na safra 2017/2018.

No que se refere as informações meteorológicas coletadas e incorporadas ao modelo foram: dados diários de precipitação pluviométrica, temperatura mínima, temperatura máxima e radiação solar.

Os dados meteorológicos utilizados para a validação foram coletados da estação meteorológica instalada no local do experimento (Figura 2), bem como os dados obtidos do INMET, POWERNASA, AGRITEMPO relacionados ao Estado do Tocantins.

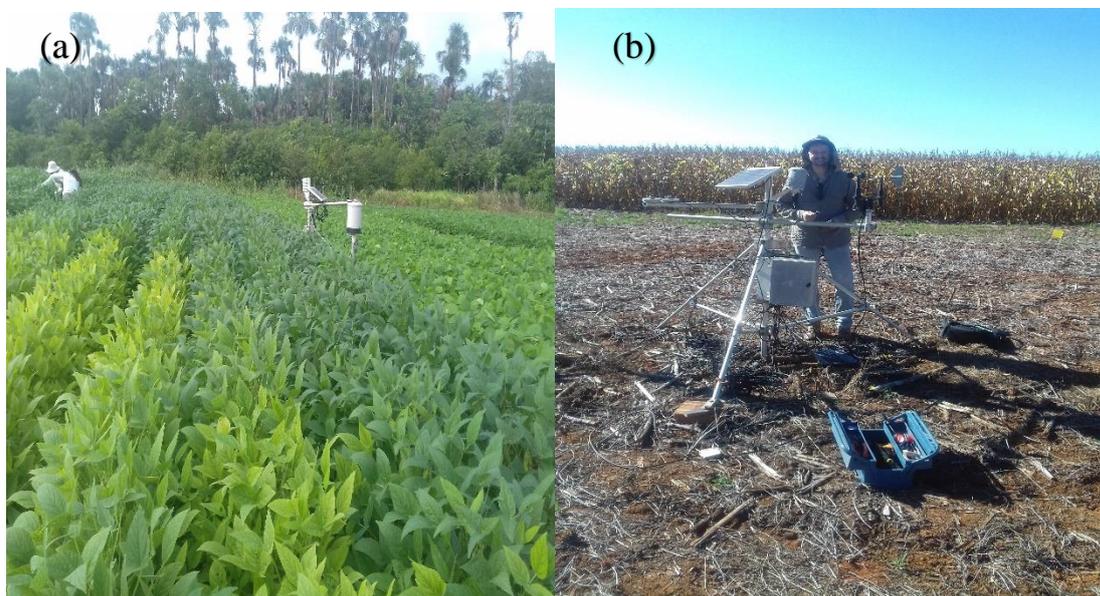


Figura 2. Vista geral da área experimental (a) e da estação meteorológica (b)

Com relação aos dados do solo, foram coletadas amostras de solo, para a obtenção das variáveis químicas tais como: argila, areia, silte, minerais, CTC, pH, carbono orgânico, nitrogênio, bem como, características mais específicas do solo como, alumínio, fósforo e potássio. Foram realizadas análises de solo para observação das características físico-químicas, tais como teor de matéria orgânica e ainda outras variáveis a partir da curva de retenção da água. Obteve-se oito amostras com profundidade de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm e duas repetições.

Ao modelo foram incorporados seguintes parâmetros relativos a planta: coeficientes de sensibilidade ao fotoperíodo, duração de fase juvenil e período de enchimento de grãos, grau de maturação e tipo de hábito do cultivar.

Além desses dados, foram realizadas coletas biométricas como: peso da planta, peso das folhas e galhos, peso das vagens (úmido e seco).

Foram avaliados também os seguintes parâmetros: número de vagens (NV), número de grãos (NG), diâmetro do caule (DC), número de nós (NN), altura das plantas (Alt), massa da planta (MP), massa de mil grãos (MMG), rendimento por planta (RPP) e rendimento por área (RPA).

Para a padronização de procedimentos de coleta de dados experimentais, foram observadas as recomendações de Nassif; Marin; Costa (2013), o que facilitou a compreensão, compartilhamento e comparação de dados, alavancando os conhecimentos e estudos da área referida.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema de parcelas subdivididas, conduzido em sistema de plantio direto na palha com a soja semeada em espaçamento entrelinear de 0,50 m e densidade de 13 sementes por metro para as duas cultivares. Foi estudado o efeito do desempenho de duas cultivares em duas épocas de semeadura resultando em quatro tratamentos com quatro repetições, totalizando 16 parcelas experimentais.

As cultivares avaliadas no experimento foram: a) BRS 8980 IPRÓ – hábito de crescimento determinado e grupo de maturação 8.9, e b) BÔNUS IPRÓ – hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 7.9. A colheita da cultivar Bônus semeada na primeira época ocorreu no dia 08/03/18, e no dia 05/04/18 na segunda época. A cultivar BRS 8980IPRO foi colhida nos dias 29/03/18 e 13/04/18, referentes à primeira e segunda épocas de semeadura, respectivamente.

Cada parcela do experimento apresentou 8 linhas de 30 metros de extensão, com espaçamento de 0,5 m entre linhas, sendo em cada metro linear apresentou 13 plantas (Figura 3).

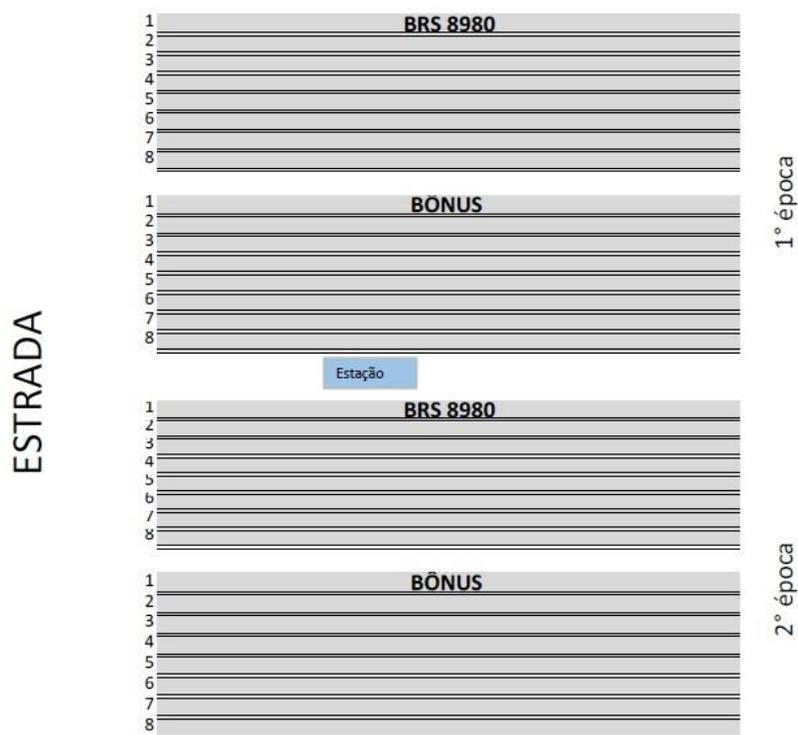


Figura 3. Croqui do experimento.

Para avaliação de desempenho dos cultivares, foram colhidas 4 subamostras de 1 m<sup>2</sup>, (duas linhas de um metro linear) representativas na área experimental.

Os dados obtidos do material colhido foram submetidos a análise de variância, e as médias comparadas pelo teste F com 5% de probabilidade, através do programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 1998)

## REFERÊNCIAS

- ABPPF. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. **Como a planta da soja se desenvolve**. Piracicaba: Ed. Potafos, Piracicaba. p.1-21. 2000.
- BARBOSA, J. E. D.; SENTELHAS, P. C.; STAPE, J. L.; MARIN, F. R. Calibração do modelo agrometeorológico da FAO para a estimativa da produtividade potencial e real do *Eucalyptus dunnii*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA USP, 14, São Paulo, 2006. p.1.
- BARON, C.; PRESEZ, P.; MARAUX, F. Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques. In: **Bilan hidrique applique au zonage (SARRAZON)**. Montpellier: CIRAD-CA. 1996. 26p.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. Drought tolerance of brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. **Experimental Agriculture**, v. 51, n. 2, p. 285-298. 2015.
- BEHRING, S. B.; CHAGAS, C. S.; JUNIOR, W. C.; PEREIRA, N. R.; AMARAL, F. C. S.; ZARONI, M. J.; GONÇALVES, A. O. Geotecnologias aplicadas ao zoneamento agroecológico do Estado do Mato Grosso do Sul. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, n. 26, p. 171-187. 2014.
- BERNARDES, M. S. Modelagem matemática aplicada a agricultura. FNP CONSULTORIA & COMERCIO. Agriannual, 2000. **Anuário de agricultura brasileira**. São Paulo. p.80-81. 2000.
- BORGHI, E.; CAMPOS, L.J.M.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E.S.O.; AVANZI, J.C.; CORREA, L.V.T. Produção de soja no Estado do Tocantins: percepções iniciais sobre o sistema produtivo. In: XXXIV REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 34 Londrina, 2014. **Anais...** Londrina: EMBRAPA CNPTIA, 2014. p. 18-20.
- BRISSON, N.; MARY, B.; RIPOCHE, D.; JEUFFROY, M. H.; RUGET, F.; NICOULLAUD, B.; GATE, P.; BARRET, F. D.; ANTONIOLETTI, R.; DURR, C.; RICHARD, G.; BEAUDOIN, N.; RECOUS, S.; TAYOT, X.; PLENET, D.; CILLIER, P.; MACHET, J. M.; MEYNARD, J. M.; DELÉCOLLE, R. STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances: I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. **Agronomie EDP Sciences**, v. 18, n. 5-6, p.311- 346, 1998.
- CÂMARA, G. M. S. Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 5, p. 63-69, jun/jul. 2006.
- CHEN, K. I. et al. Soyfoods and soybean products: from traditional use to modern applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 96, n. 1, p. 9–22, 2012.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra de grãos 2018/19**, Brasília: Conab,v. 6 n. 4. p. 126, 2019.

CARVALHO, M. V. M. **Influência de arranjos de parcelas em soja na qualidade experimental**. 2014. 40 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Tocantins - UFT. Gurupi. 2014

COSTA, A. S. C. **Comparação das características morfológicas, produtividade e principais custos de produção de cultivares superprecoces de soja RR e intacta**. 2015. 34 f. trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília - UnB, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Brasília. 2015.

DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; FARIA, R. T.; CONÇALVES, A. C. C.; REZENDE, R.; BERTONHA, A. Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 583-589. 2006.

DARLING, P.J.; CARRUNTERS, I. Thirty years of agriculture: a review of sub-Saharan Africa. **Span**, Oxford, v. 30, p. 129-132, 1988.

DOORENBROS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**: FAO irrigation and drainage paper n. 33. Rome: FAO, 1979. 193p.

DOURADO-NETO, D. et al. Principles of crop modeling and simulation: I. uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia Agricola**, v. 55, p. 46–50, 1998.

DRECHSLER, M. Sensitivity analysis of complex models. **Biological Conservation**, Barking, v. 86, p. 401-412. 1998

DSSAT. Decision Support System for Agrotechnology Transfer. Disponível em <<https://dssat.net/>>. Acesso em 13 jun. 2019.

EMBRAPA. Embrapa Informática Agropecuária. **Árvore do conhecimento da soja**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONT000fzr67crj02wx5ok0cpoo6aietiwl0.html>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

EVANGELISTA, B. A. **Projeção de cenários atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambiente de cerrado**. 2011. 188 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2011.

EVANGELISTA, B. A.; SILVA, F. A. M.; SIMON, J. CAMPOS, L. J. M.; VALE, T. M. **Zoneamento de risco climático para determinação de épocas de semeadura da cultura da soja na região MATOPIBA**. Palmas: Embrapa. 2017. 44p (Boletim Técnico n. 18).

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 Bras. de Agrometeorologia**. Passo Fundo, v.9 n.3 (n. especial: zoneamento agrícola), p. 415-421. 2001.

- FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina. 2007. 8 p (Embrapa Soja. Circular técnica, 48).
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology. 11 p., 1977. (Special Report, 80). 11p.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar** - Sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.
- FRAGOSO, D. de B.; CARDOSO, E. A. **Expansão da agricultura no Estado do Tocantins**. In: COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. da. Agricultura e mudanças climáticas no Estado do Tocantins: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento. Palmas: Provisão. cap. 1, p 5-21, 2019 (no prelo).
- GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R.; Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: BERNADI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASSU, R. Y. **Agricultura de precisão resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, cap. 4, p. 74-84. 2014.
- KEATING, B. A.; CARBERRY, P.S.; HAMMER, G. L; PROBERT, M. E.; ROBERTSON, M. J.; HOLZWORTH, D.; HUTH N. I.; HARGREAVES, J. N. G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J. P.; SILBURN, M.; WANG, E.; BROWN, S.; BRISTOW, K. L.; ASSENG, S.; CHAPMAN, S.; MCCOWN, R. L; FREEBAIRN, D. M.; SMITH, C. J. An overview of APSIM, a model designed for farming systems Simulation. **European Journal of Agronomy**, n 18, p. 267-288. 2003.
- LIMA FILHO, A. F.; COELHO FILHO, M. A.; HEINEMANN, A. B. Calibração e avaliação do modelo Cropgro para a cultura do feijão caupi no Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1286-1293, dez. 2013.
- MANAVALAN L.P.; GUTTIKONDA S.K.; TRAN L.S.; NGUYEN H.T. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Rev. Plant Cell Physiol**, n. 50, p.1260-1276. 2009.
- MARIN, F. R.; THORBURN, P. J.; NASSIF, D. S. P.; COSTA, L. G. Sugarcane model intercomparison: Structural differences and uncertainties under current and potential future climates. **Environmental Modelling & Software**, v. 1, n. 1, p. 1-15. 2015.
- MARIN, F. R. **Princípios de modelagem de sistemas agrícolas**. 2016. Disponível em: <[http://sites.usp.br/gepema/wp-content/uploads/sites/156/2016/08/Texto\\_Intro\\_Modelagem.pdf](http://sites.usp.br/gepema/wp-content/uploads/sites/156/2016/08/Texto_Intro_Modelagem.pdf)>. Acesso em: 28 jan. 2018.
- MARTORANO, L. G.; BERGAMASCHI, H.; FARIA, R. T. de; DALMAGO, G. A.; MIELNICZUK, J.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Simulações no CROPGRO/DSSAT do carbono no solo cultivado com soja sob plantio direto e preparo convencional, em clima subtropical do sul do Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro.

**Anais...** Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: SBCS: Embrapa Solos: Embrapa Agrobiologia, 2008.

MELLO, B. A.; CAIMI, L.L.; Simulação na validação de sistemas computacionais para a agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 666-675. 2008.

MUNIZ, L. C.; VIU, M. A. O. MAGNABOSCO, C. U.; LOPES, D. T. Modelagem e simulação na agropecuária. **Pubvet**, v. 1, n. 11, p. 1–31, 2007.

NASSIF, D. S. P.; MARIN, F. R.; FILHO, W. J. P.; RESENDE, R. S.; PELEGRINO, G. P. Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/Canegro para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.47, n.3, p.311-318, mar. 2012.

NASSIF, D. S. P.; MARIN, F. R.; COSTA, L. G. **Padrões mínimos para coleta de dados experimentais para estudos sobre crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar.** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, p. 1-31. 2013. (Boletim Técnico n. 127).

NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. **Características da soja.** 2018. 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: 13 fev. 2018.

PENARIOL, A. **Soja: cultivares no lugar certo.** Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/topic/publications>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

OLIVEIRA, R. C.; DI MAURO, A. O.; TREVISOLINI, S. H. U.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, J. A.; PERECIN, D.; ARANTES, N. E. Progênies superiores de soja resistentes ao tipo 3 do nematóide de cisto da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.745-751, 2005.

OZAKI, V. Análise espacial da produtividade agrícola no Estado do Paraná: implicações para o seguro agrícola. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v.46 n. 3. 2008

QUESSADA, T. P.; GUEDES, C. L. B.; BORSATO, D.; GAZZONI, B. F.; GALÃO, O. F. Obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja e milho utilizando catalisadores básicos e catalisador ácido. **Enciclopedia Biosfera**, v. 6, p. 1–25, 2010.

RENNIE, N. Thirty years of agriculture: a review of Australia and New Zealand. **Span**, Oxford, v.30, p.138-141, 1998.

RITCHIE, J. T.; GODWIN, D. C.; SINGH, U. Soil and weather inputs for the IBSNAT crop models. In: Proc. IBSNAT Symp.: decision support system for agrotechnology transfer, Las Vegas, NV, p. 16–18, out. 1989. Part I. **Symposium Proceedings.** Honolulu: Dep. of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, 1990.

RODRIGUES, C. P. **Estudo do fluxo de carbono utilizado em geotecnologias**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; UNGARO, M. R. G. Análise de risco climático para a cultura do girassol, em algumas localidades de São Paulo e do Paraná, usando os modelos DSSAT/OILCROP-SUN e FAO. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.91-102, 2001.

ROSENZWEIG, C.; JONES, J. W.; HATFIELD, J. L.; RUANE, A. C.; BOOTE, K. J.; THORBURN, P.; ANTLE J.M.; NELSON, G. C.; PORTER, C.; JANSSEN, S.; ASSENG, S.; BASSO B.; EWERT F.; WALLACH D.; BAIGORRIA G.; WINTER, J. M. The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. **Rev. Agric. Forest Meteorology**, v. 170, p.166-182. 2013.

RÖTTER, R. P.; CARTER, T. R.; OLESEN, J. E.; PORTER, J. R. Crop-climate models need an overhaul. **Nature Climate Change**, v. 1, p.175–177. 2011.

SALMERÓN, M.; PURCELL, L. C. Simplifying the prediction of phenology with the DSSAT-Cropgro-soybean model based on relative maturity group and determinacy. **Agricultural Systems**, v. 148, p. 178-187. 2016.

SANTOS, A. O.; VALERIANO, M. M.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; Opportunities and limitations for the application of simulation and modeling as a support for precision farming. **Rev. Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 6, p. 1509-1517. 2001.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SILVA, F.C. da; SOLER, C.M.T.; BOARETTO, A.E.; SPOLIDORIO, E.S.; FREITAS, J.G. de; MATA, D.H. da. **Simulação do crescimento e desenvolvimento do trigo irrigado utilizando o modelo CERES-Wheat na região de Campinas - SP**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. 24p. (Circular Técnica, n. 2).

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. 2. ed, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006. 214 p.

SOARES, W. R.; SEDYIAMA, G. C.; RIBEIRO, A. COSTA, J. M. N. Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento (Kcini) à lâmina de irrigação e textura do solo. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5 n.1. 2001.

SOUZA, G. M. **Conceitos em ecofisiologia vegetal no contexto da interação planta-ambiente**. 2012. Disponível em: <<http://viaciencia.com.br/artigos-2-1-conceitos-em-ecofisiologia-vegetal-no-contexto-da-intera%C3%A7%C3%A3o-planta-ambiente---teoria.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

SOUZA, L. F. de. **Aplicação do modelo ORYZA-DSSAT para a estimativa da produtividade do arroz de terras altas como subsídio ao zoneamento de risco climático no estado de Goiás, Brasil**. 2013. 186f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

TALACUECE, M. A. D. **Modelagem da relação clima produtividade da soja em Moçambique: perspectivas atuais e futuras**. 2014. 58 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola), Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 2014.

THORNLEY, J. H. M.; JOHNSON, I. R. Plant and crop modelling: a mathematical approach to plant and crop physiology. **Clarendon Press**, v. 37, n. 4, p. 451-452. 1990.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento do Tocantins – SEPLAN. **Perfil do agronegócio tocantinense**. Palmas: SEPLAN. 2016. 145 p.

VALE, T. M.; DIAS, R. R. Fragmentação da paisagem no município de Fátima, TO – Brasil. **Revista Geoambiente on-line**, n 29, p. 111-129. 2017.

WALLACH, D.; GOFFINET, B.; BERGES, J. E.; DEBAEKE, P.; LEENHARDT, D.; AUBERTOT, J. N. Parameter estimation of crop models: A new approach and application to a corn model. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93 n. 4, p. 757-766, 2001.

ZOOFÉRTIL. **Solo tocantinense**. 2017. Disponível em: <<http://www.zoofertil.com.br/informacoes-tecnicas/98-solo-tocantinense.html>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

ZUNIGA, A. D. G.; ANDRADE, A. A.; GOUVEA, G. R. S. R.; AMARAL, C. G. S.; SODRÉ, L. F.; NOVAIS, T. S.; PINEDO, A. A.; VIEIRA, C. F. S. Situação atual e perspectivas do biodiesel no Estado do Tocantins. **DESAFIOS: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 1, n. 1, p. 263-278. 2015.

#### 4. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS AGRONÔMICOS DE CULTIVARES DE SOJA PRECOCE E TARDIA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO TOCANTINS

##### Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento e rendimento de duas cultivares de soja de ciclo precoce e ciclo tardio, semeadas em duas épocas, na região central do Estado do Tocantins. Foram avaliadas as cultivares Bônus IPRO (BRASMAX 8579) e BRS 8980 IPRO, ciclo precoce e tardio respectivamente, a primeira época semeadura foi realizada em 19/11/2017 e a segunda semeadura em 16/12/2017. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema de parcelas subdivididas, sendo duas cultivares como parcela e duas épocas de semeadura como subparcelas, totalizando 4 tratamentos com 4 repetições compondo assim 16 parcelas experimentais, para a condução do experimento instalado em Aparecida do Rio Negro. Para avaliar o rendimento das cultivares foram testados estatisticamente os componentes de rendimento da planta de soja: massa da planta (MP), massa de mil grãos (MMG), diâmetro do caule (DC), altura das plantas (Alt), número de nós (NN), número de vagens (NV), número de grãos (NG), rendimento por planta (RPP) e rendimento por área (RPA). Os resultados mostraram que as duas cultivares tiveram o RPA equivalente na primeira época com valores de 3.285 kg.ha<sup>-1</sup> para a cultivar precoce e de 3.558 kg.ha<sup>-1</sup> para a cultivar tardia. Já a segunda época, foi marcada por fatores ambientais adversos, refletindo o baixo rendimento das cultivares.

**Palavras-chaves:** Glycine max. Época de plantio. Produtividade.

##### Abstract

The objective of this study was to evaluate the behavior and yield of two cultivars of early and late cycle soybeans, sown in two seasons, in the central region of the state of Tocantins. The cultivars Bonus IPRO (BRASMAX 8579) and BRS 8980 IPRO, early and late cycle, respectively, were evaluated. The first sowing season was performed on 11/19/2017 and the second sowing on 12/16/2017. It was used a completely randomized design (DIC) in subdivided plots scheme, being two cultivars as plot and two sowing times as subplots, totaling 4 treatments with 4 replicates, thus composing 16 experimental plots, to conduct the experiment installed in Aparecida do Rio Negro. To evaluate the yield of the cultivars were statistically tested the yield components of the soybean plant: plant mass (MP), mass of a thousand grains (MMG), stem diameter (DC), plant height (Alt), number of nodes (NN), number of pods (NV), number of grains (NG), yield per plant (RPP) and yield per area (RPA). The results showed that the two cultivars had the equivalent RPA in the first season with values of 3,285 kg.ha<sup>-1</sup> for the early cultivar and of 3,558 kg.ha<sup>-1</sup> for the late cultivar. The second season was marked by adverse environmental factors, reflecting the low yield of the cultivars.

**Key-words:** Glycine max. Planting date. Productivity.

## 4.1 Introdução

A soja é o principal produto agrícola brasileiro e também uma das culturas mais importantes do mundo, sendo fonte de proteína para a dieta humana e animal. É também utilizada como matéria prima para obtenção do biodiesel, subproduto do farelo de soja, como tantos outros utilizados na fabricação de ração animal (CHEN et al., 2012).

O Estado do Tocantins tem se destacado no cenário agrícola nacional pela crescente produção de grãos. Faz parte da região do MATOPIBA, definida como interface entre os Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, sendo responsável pela produção de aproximadamente 12,49 milhões de toneladas de grãos na safra 2016/2017, conforme dados da Conab (2018), o que representou 11% da produção nacional.

Na safra 2017/2018 foram colhidos 3,097 milhões de toneladas de soja no Estado, aumento de 21,78% em comparação a safra anterior (CONAB, 2019). Entretanto, ainda existem grandes desafios a serem superados para o potencial produtivo de soja no Tocantins seja efetivado, como o posicionamento de cultivares de ciclos de desenvolvimento precoces e tardios, mediante seu comportamento nas condições edáficas encontrados no Tocantins, e respeitados os períodos de semeadura indicados nos estudos de zoneamento de risco climático (EVANGELISTA et al., 2017).

O cenário produtivo atual mostra uma tendência cada vez maior para a adoção de ferramentas de planejamento de paisagens, boas práticas de manejo de solo, tecnologias produtivas inovadoras que considerem aspectos socioambientais que promovam a redução da emissão de carbono para a atmosfera e o aumento da disponibilidade de água e carbono no solo (ZENARO; MORAIS; ALBERICI, 2015). A análise dos parâmetros e fatores da produção vegetal é uma importante ferramenta por possibilitar a análise da variação temporal de um sistema produtivo frente às oscilações do mercado, do clima e à ocorrência de pragas e doenças.

O comportamento das cultivares de soja pode variar bastante nas diversas regiões de cultivo e até mesmo em uma determinada área ou em períodos de plantio. As respostas das cultivares semeadas em épocas diferentes podem servir de base para estudos de modelagem das suas interações com as variáveis de solo e clima e, a partir de então, permitir recomendações de épocas de plantio com baixo risco de perda de rendimento (EVANGELISTA et al., 2017).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar os parâmetros agrônômicos de desenvolvimento e rendimento de duas cultivares de soja (precoce e tardia) cultivadas no Estado do Tocantins em duas épocas de semeadura.

## 4.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido na safra 2017/18, em uma área experimental localizada na Fazenda Boa Esperança, no município de Aparecida do Rio Negro (10°00'41''S, 48°09'25''W e altitude de 535 m). A região apresenta classificação climática Aw (KÖPPEN, 1936), caracterizada por clima tropical seco, apresentando temperatura média anual de 26,6 °C e pluviosidade média anual de 1.619 mm. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-amarelo distrófico típico (SANTOS et al., 2013).

Na área do experimento foi instalada uma estação agrometeorológica automática para registro dos principais elementos meteorológicos como, precipitação pluviométrica (mm.dia<sup>-1</sup>), umidade e temperatura do ar, umidade e temperatura do solo, radiação solar (Figura 1).

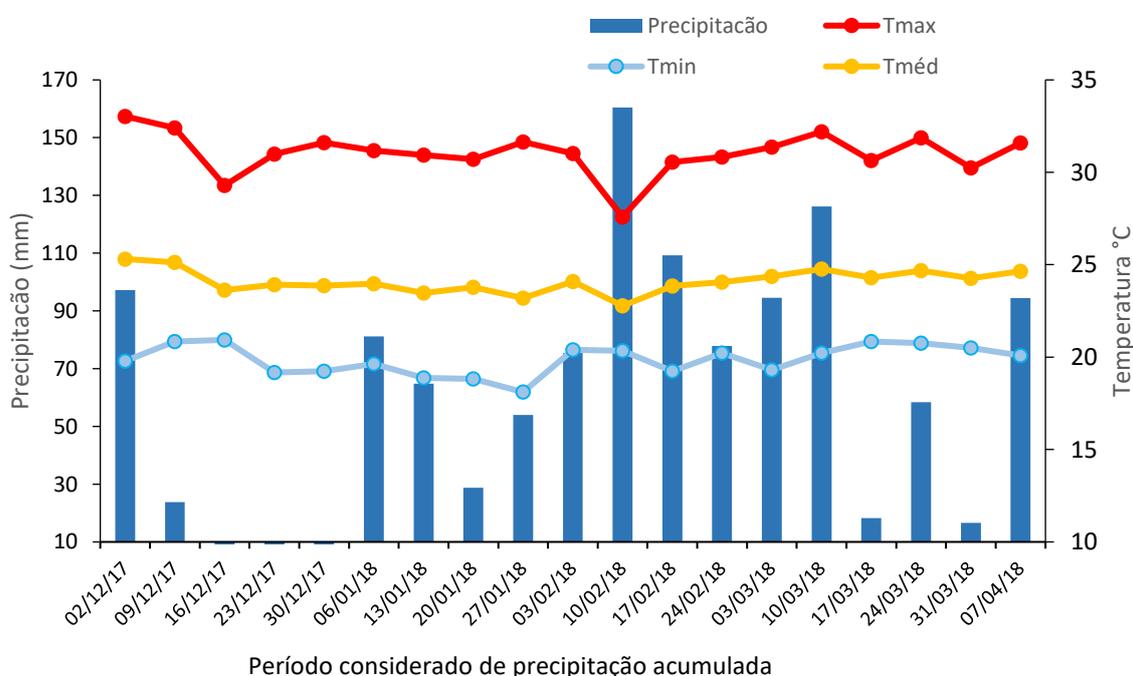


Figura 1. Índices médios de temperatura mínima, média e máxima (°C) e precipitação (mm) obtidos para cada 7 dias durante o período de cultivo da soja.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) parcelas subdivididas, sendo as duas variedades testadas na parcela e duas épocas de semeadura na subparcela resultando em 4 tratamentos com 4 repetições totalizando 16 parcelas experimentais, conduzido em sistema de plantio direto na palha com a soja semeada em espaçamento de 0,50 m entre linhas e densidade de 13 sementes por metro para duas cultivares. Foi estudado o desempenho de duas cultivares em duas épocas de semeadura resultando em quatro tratamentos com quatro repetições, totalizando 16 parcelas experimentais.

As cultivares avaliadas foram a BRS 8980IPRO, de ciclo tardio, hábito de crescimento determinado e grupo de maturação 8.9; e a cultivar Bônus IPRO (BRASMAX 8579), de ciclo precoce, hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 7.9. Ambas cultivares foram semeadas em duas épocas, a primeira no dia 16/11/2017, e a segunda no dia 19/12/2017. O acompanhamento do ciclo de desenvolvimento das cultivares foi realizado semanalmente, usando como base nas escalas fenológicas de Fehr; Calviness (1977) e Ritchie et al. (1982).

A parcela experimental foi composta por uma área de 120m<sup>2</sup>, contendo 8 linhas de plantio de 30 m, espaçadas de 0,50 m. Na época da coleta dos dados e na colheita foram desprezadas duas linhas laterais (borda) e um metro das extremidades de cada fileira central.

A colheita da cultivar Bônus semeada na primeira época ocorreu no dia 08/03/18, e no dia 05/04/18 na segunda época. A cultivar BRS 8980IPRO foi colhida nos dias 29/03/18 e 13/04/18, referentes a primeira e segunda épocas de semeadura, respectivamente.

Para avaliação de desempenho dos cultivares, foram colhidas 4 subamostras de 1 m<sup>2</sup>, (duas linhas de um metro linear) representativas na área experimental. Foram avaliados os seguintes componentes de produção: número de vagens (NV), número de grãos (NG), diâmetro do caule (DC), número de nós (NN), altura das plantas (Alt), massa da planta (MP), massa de mil grãos (MMG), rendimento por planta (RPP) e rendimento por área (RPA).

Os dados obtidos do material colhido foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias foram comparadas pelo teste F com 5% de probabilidade, através do programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 1998).

### 4.3 Resultados e Discussão

Os resultados da análise de variância (ANOVA) dos componentes de produção das cultivares de soja avaliadas estão apresentados na Tabela 1 (mais detalhados nas Tabelas 2 e 3).

Tabela 1. Resumo da análise de variância entre os parâmetros: número de nós (NN), número de galhos (NG), diâmetro do caule (DC), altura das plantas (Alt), massa da planta (MP), número de vagens (NV), massa de mil grãos (MMG), rendimento por planta (RPP) e rendimento por área (RPA).

| Fontes de Variação | GL | QM     |        |        |         |          |          |          |         |          |
|--------------------|----|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|
|                    |    | NN     | NG     | DC     | Alt     | MP       | NV       | MMG      | RPP     | RPA      |
| Cultivar           | 1  | 81000* | 54316* | 10017* | 850888* | 74.175   | 2202424* | 9423555* | 25984*  | 693993*  |
| Erro1              | 6  | 2.280  | 0.791  | 0.244  | 11.102  | 53.070   | 86.143   | 37.288   | 0.729   | 19.931   |
| Épocas             | 1  | 1690*  | 1.368  | 1782*  | 0.072   | 346239*  | 582256*  | 7237755* | 111460* | 4254865* |
| Cult*Épo           | 1  | 0.010  | 0.592  | 3150*  | 433888* | 3301364* | 2287708* | 553425*  | 69264*  | 1897526* |
| Erro2              | 6  | 0.183  | 0.284  | 0.088  | 12.236  | 14.722   | 32.465   | 27.953   | 3.993   | 74.056   |
| Total              | 15 |        |        |        |         |          |          |          |         |          |
| CV 1 (%)           |    | 8.51   | 12,63  | 6.98   | 3.68    | 16.64    | 12,58    | 4.29     | 6.61    | 4.86     |
| CV 2 (%)           | -  | 2.41   | 7,58   | 6.42   | 3.87    | 8.76     | 7,72     | 3.71     | 15.47   | 9.37     |

\* Significativo a 5% pelo teste de F.

Pela Tabela 1 da Anova percebe-se a existência de diferenças significativas entre as cultivares para todos os parâmetros analisados, com exceção da massa da planta (MP). Nota-se também que há diferenças significativas entre as épocas de plantio para todas os componentes, com exceção do número de grãos (NG) e a altura da planta (Alt), assim como a interação entre as cultivares e épocas de semeadura, não sendo observadas diferenças significativas entre o número de grãos (NG) e o número de nós (NN).

Com base nos resultados deste estudo e nos obtidos por Faria et al. (2018), que analisaram as características agrônômicas de cultivares de soja em diferentes épocas de plantio em dois municípios localizados também na região central do Tocantins, destaca-se a necessidade de realização de trabalho de pesquisa regionalizados.

Os resultados da análise de correlação entre as variáveis (fatores de produção) estão apresentados na Tabela 4. Observa-se que a variável MMG apresentou alta correlação com o rendimento da cultura (RPA). As variáveis massa seca da planta (MP) e altura média da planta (Alt) apresentaram média correlação com a (RPA). E, por outro lado, as variáveis número de nós (NN), diâmetro do caule (DC), número de galhos (DG) e número de vagens (NV) não apresentaram interação com a produção das plantas.

O componente número de nós (NN) está relacionado à produtividade, pois é o local onde a flor da soja se desenvolve, e quanto maior o número de nós, maior potencial para produção de vagens e grãos. Quando avaliada esta variável, observa-se que houve diferença significativa entre as cultivares (Figura 2). O número de nós da cultivar precoce foi 23,2% menor que a tardia, sem qualquer influência significativa entre as épocas de plantio. Esta variável também não explica as diferenças de produtividade (Figura 10), uma vez que a BRS 8980 possui um maior número de nós e produziu igual ou menos que a Bônus.

Conforme observado na Tabela 4, o número de nós apresentou média correlação com o número de vagens (0,6) e uma correlação inversa (-0,7) com a massa de mil grãos (MMG). A explicação para tal fato pode estar relacionada à plasticidade da soja, característica em que o número de grãos e as ramificações podem aumentar ou diminuir de acordo com o número de vagens (VAZ BISNETA et al., 2015).

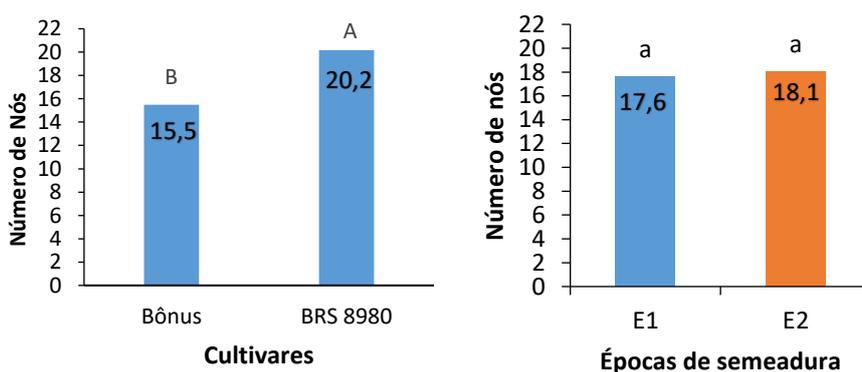


Figura 2. Número de nós (NN) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura.

As épocas de semeadura não influenciaram no número de galhos das cultivares avaliadas (Figura 3), mas a cultivar BRS 8980IPRO apresentou maior número de galhos em relação à Bônus.

O número de galhos depende de fatores como a genética, nutrição mineral, espaçamento entre as plantas e fatores climáticos. O desenvolvimento irregular deste parâmetro afeta o número de flores que se desenvolvem entre os ramos, e em consequência, o desenvolvimento das vagens e dos grãos (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

O número de galhos parece ser mais influenciado pela quantidade de plantas por área, que determina a luminosidade disponível para gemas mais próximas ao solo. Como foi utilizado um número fixo de população de soja, as condições diferentes de clima entre as épocas não influenciaram a formação de galhos. Estresse hídrico ocorrendo entre o florescimento e o enchimento de grãos afeta o rendimento total das sementes, e reduz principalmente o desenvolvimento dos galhos e reduz conseqüentemente o número de sementes (ZHANG et al., 2011), o que não ocorreu nesta pesquisa, uma vez que não houve diferença no número de galhos entre as épocas.

O parâmetro número de galhos não foi suficiente para explicar as diferenças de produtividade desta pesquisa, uma vez que a BRS 8980IPRO apresentou maior quantidade de galhos e obteve produção semelhante a Bônus na primeira época e menor na segunda época (Figura 3 e Figura 10). Em relação à diferença entre as cultivares, é comum observar comportamentos diferentes na formação de galhos, governado pelo fator genético de cada material, que pode ser a razão das diferenças entre os cultivares.

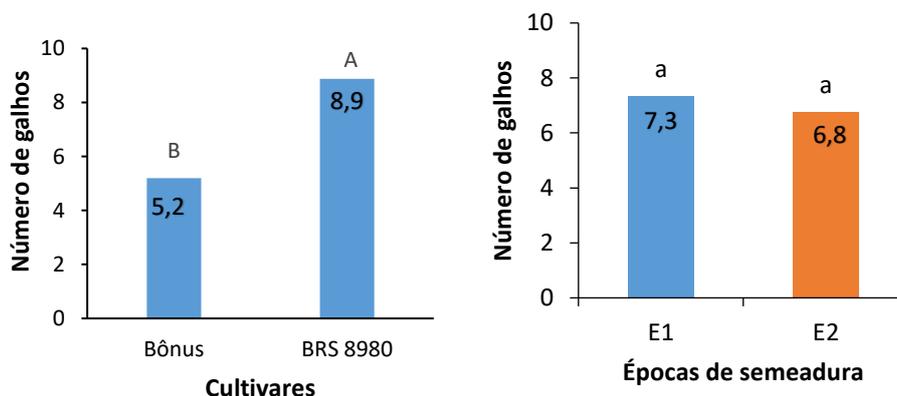


Figura 3. Número de galhos (NG) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura.

O resultado da análise do diâmetro do caule nas cultivares estão expostos na Figura 4. Comparando as duas cultivares na primeira e segunda época, a cultivar BRS 8980IPRO tem maior média em diâmetro de caule que a Bônus. Entre as épocas, a cultivar Bônus não mostrou diferenças significativas, já a cultivar BRS 8980IPRO, teve menor diâmetro do colmo na segunda época.

O diâmetro do caule também é afetado por fatores externos como luminosidade, fertilidade do solo e disponibilidade ou excesso de água para a planta. O desenvolvimento da planta é diretamente prejudicado por algum tipo de estresse ambiental, o que pode

reduzir a produção. Neste caso, a cultivar BRS pode ter expressado menor média em diâmetro de caule na segunda época em relação à primeira, podendo ser atribuído à ocorrência excedente hídrico, baixa luminosidade, saturação de água no solo, especialmente na fase vegetativa.

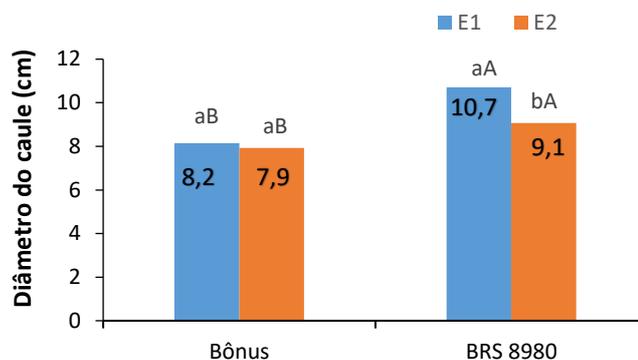


Figura 4. Diâmetro do caule (DC) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura.

Os resultados de altura de planta estão apresentados na Figura 5, onde se observou-se uma interação significativa para esta variável. A altura das plantas não apresentou diferença significativa entre as cultivares Bônus e BRS 8980IPRO na primeira época, e na segunda época, a cultivar BRS apresentou maior altura que a Bônus. Entre as épocas, a cultivar precoce cresceu mais na primeira época do que na segunda, enquanto a cultivar tardia apresentou maior altura na segunda época. Ainda, houve uma boa correlação (0,7) entre altura e número de nós (Tabela 4), pois quanto maior altura, maior número de nós e, conseqüentemente, o número de flores. Carvalho et al. (2002), cita a altura como uma das principais características agrônômicas a serem avaliadas durante a floração da planta, podendo indicar linhagens de cultivares mais produtivas, já a partir deste estágio.

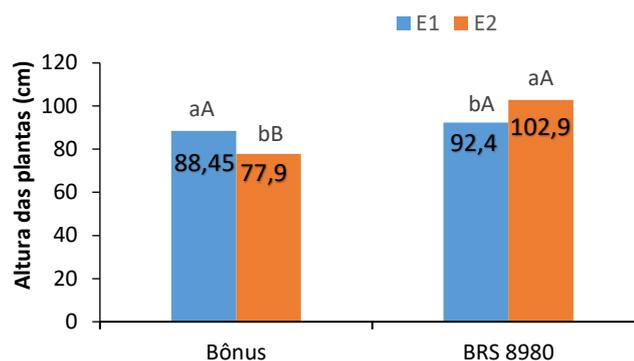


Figura 5. Altura de planta (Alt) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura.

Os resultados da avaliação do rendimento de biomassa, expresso pela componente massa da seca da planta estão apresentados na Figura 6. Nota-se na BRS 8980 obteve-se maior massa seca que a Bônus na primeira época. Porém, na segunda época, acontece o inverso. O mesmo comportamento ocorreu entre as épocas para a mesma cultivar, com a Bônus apresentando massa de 37,7% maior na segunda época quando comparada à primeira. A BRS 8980 também possui diferença significativa de uma época para outra, visto que na primeira época as plantas possuem 58,5% mais massas seca do que na segunda época.

Quando analisada a correlação entre as variáveis massa seca da planta (MP) e rendimento por área (RPA), observa-se que o aumento da produção de biomassa implicou no incremento do rendimento das culturas, independente da cultivar ou época de semeadura (Tabela 4).

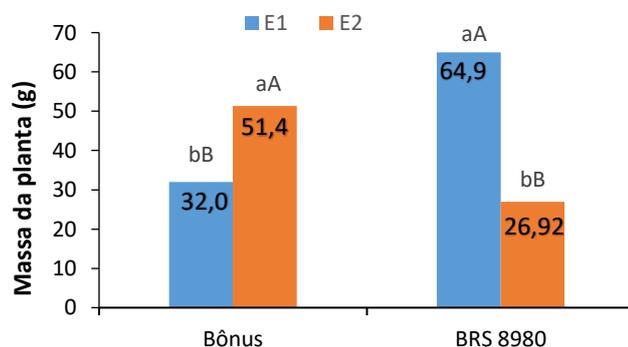


Figura 6. Massa da planta (MP) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2) Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares e maiúsculas comparam cultivares dentro das épocas de semeadura.

O número de vagens é um dos componentes do rendimento da planta da soja, com papel fundamental para as estimativas de rendimento, onde a redução do número de

vagens reflete no decréscimo do rendimento da planta de soja (BOARD; TAN, 1995). O número de vagens observado nas cultivares mostrou respostas diferentes entre as épocas (Figura 7). A cultivar Bônus mostrou baixa diferença entre nas épocas de semeadura, com aumento de 17,3% do número de vagens na segunda época.

A BRS 8980 IPRO exibiu diferenças significativas (queda de 54,2%) entre a primeira e a segunda época. Na comparação entre cultivares, na primeira época a BRS superou o número de vagens da Bônus, em 47%, contudo, as produtividades não diferiram significativamente (Figura 2), o que não foi observado na segunda época.

Nesta pesquisa, somente a variável número de vagens não explica as diferenças de produtividade observadas, uma vez que existem outros fatores que podem influenciar a produtividade, como número de grãos por vagem e massa de 1000 grãos.

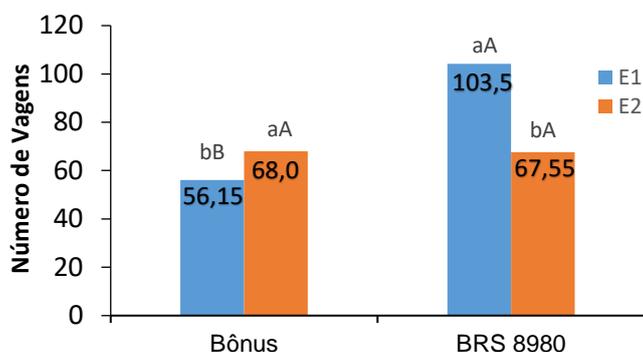


Figura 7. Número de vagens (NV) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura.

A massa de mil grãos obtida da cultivar Bônus foi significativamente superior na primeira época em relação à segunda (Figura 8), sendo constatado o mesmo comportamento na cultivar BRS 8980IPRO. Notou-se ainda que, tanto na primeira quanto na segunda época, a Bônus apresentou valores de MMS superiores à cultivar BRS 8980 IPRO.

A variável MMG relaciona-se às diferenças de produtividade (Figura 8 e Figura 10), uma vez que as cultivares produziram a mesma quantidade na primeira época, pois a MMG delas foi a mesma. Na segunda época, a MMG da Bônus foi maior, o que poderia justificar a maior produtividade desta quando comparada à BRS 8980 nesta época. Esta hipótese é corroborada pela elevada correlação entre MMG x RPA ( $R=0,79$ ), conforme apresentado na Tabela 4.

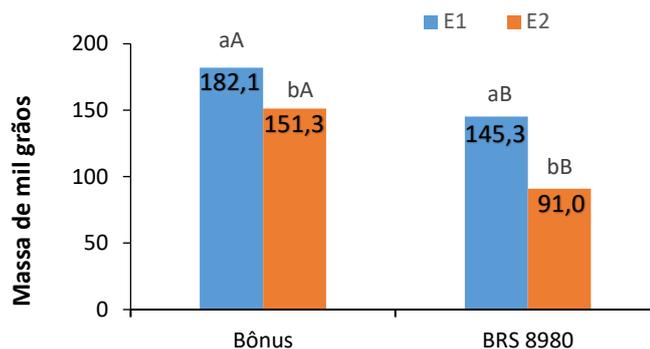


Figura 8. Massa de mil grãos (MMG) obtida das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam de épocas, e maiúsculas comparam cultivares dentro das épocas de semeadura.

Os resultados da análise do rendimento por planta (RPP) estão apresentados na Figura 9, onde não se observou-se diferenças significativas de rendimento da cultivar Bônus nas duas épocas de semeadura. A cultivar BRS 8980 IPRO apresentou maior rendimento na primeira época, e forte declínio na segunda, com aproximadamente 50% de redução. Entre as cultivares, na primeira época a BRS 8980 apresenta cerca de 35% mais de rendimento por planta do que a Bônus; e na segunda época elas tiveram rendimentos semelhantes.

Na comparação entre as cultivares, é observado que na primeira época a BRS 8980 IPRO apresentou rendimento por planta estatisticamente superior à Bônus. Já na segunda época, as cultivares apresentaram RPP não diferiram estatisticamente. Como foi observado que na primeira época os dois cultivares foram menos afetados por adversidades do ambiente, mas no segundo cultivo, a BRS 8980 IPRO, de maior ciclo, ficou mais exposta ao excesso de chuva, baixa luminosidade e ataque por pragas e doenças. Esta condição pode ter inibido este material de expressar seu potencial e com isto, corroborar com os dados de menor rendimento final por planta.

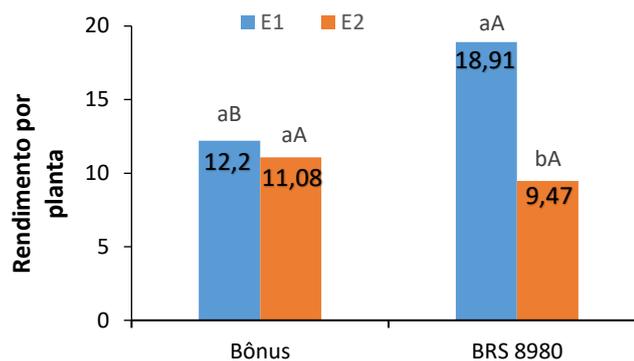


Figura 9. Rendimento por planta (RPP) das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas e maiúsculas comparam cultivares dentro das épocas de semeadura.

O rendimento médio das cultivares Bônus e BRS 8980 IPRO, obtidos nos cultivos em duas épocas, estão apresentados na Figura 10. A cultivar Bônus, semeada na primeira época, teve um ciclo de 112 dias e rendimento médio de 3.285 kg.ha<sup>-1</sup>. Na segunda época, seu ciclo foi reduzido para 107 dias e o rendimento médio 2.943 kg.ha<sup>-1</sup>. Observou-se também uma diminuição do ciclo e rendimento médio da cultivar BRS 8980 IPRO da primeira para a segunda época com um ciclo de 133 dias e rendimento de 3.558 kg.ha<sup>-1</sup> na primeira época e ciclo de 115 dias e rendimento médio de 1.363 kg.ha<sup>-1</sup>, na segunda época de plantio.

Entre as épocas de plantio, a primeira indicou melhores rendimentos estatísticos para a BRS 8980 e rendimento semelhante para a Bônus. Quando comparado o rendimento entre as cultivares, não houve diferença significativa entre elas. Na segunda época de semeadura, o rendimento da Bônus foi superior em 1.580 kg.ha<sup>-1</sup> a BRS 8980.

Na segunda época ocorreram elevados índices de precipitação durante todo o ciclo de desenvolvimento da lavoura. No período da fase vegetativa da BRS 8980 IPRO foram registrados 564, mm de chuva, e 402, mm na fase reprodutiva, florescimento e enchimento dos grãos (R1 a R6), e um total expressivo de 1.144 mm até a colheita. Nesses períodos também foram registradas baixas luminosidades, especialmente no período reprodutivo (R1 a R6), com média diária de 15,7 MJ/m<sup>2</sup>.

Os estresses abióticos como excedente hídrico, baixa luminosidade, saturação de água no solo, aliado a outros fatores podem justificar a redução tanto do ciclo das culturas como do rendimento das lavouras, especialmente a BRS 8980IPRO, de ciclo tardio. Nesse sentido, Farias et al. (2001) cita que ocorrências de seca, chuvas em excesso, baixa luminosidade e temperaturas extremas, em algumas das fases da planta de soja podem

reduzir a atividade fotossintética, com impacto no potencial de rendimento de uma cultivar.

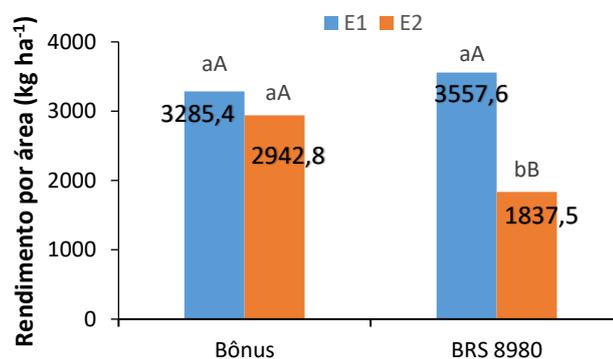


Figura 10. Rendimento médio por área (RPA) em kg.ha<sup>-1</sup> das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO semeadas em duas épocas (E1 e E2). Letras minúsculas comparam épocas dentro das cultivares, e maiúsculas comparam as cultivares dentro das épocas de semeadura.

Em resumo, o comportamento das duas cultivares, precoce e tardia, demonstrou bons resultados na primeira época, em desenvolvimento e rendimento, com destaque para a produtividade de 3.558 e 3.285 kg.ha<sup>-1</sup> para BRS 8980 IPRO e Bônus respectivamente. Na segunda época o rendimento da cultivar BRS 8980 IPRO foi consideravelmente inferior à primeira, apresentando quebra de rendimento de aproximadamente 50% (2.195 kg.ha<sup>-1</sup>). Excesso de chuva e baixa luminosidade, entre outros, podem explicar tal comportamento. Este impacto pode ser justificado pelo maior tempo de exposição das plantas às instabilidades ambientais, especialmente aos fatores e elementos climáticos.

#### 4.4 Conclusões

A cultivar precoce (Bônus) apresentou maior estabilidade em desenvolvimento e rendimento nas épocas avaliadas, indicando também maior resiliência aos fatores e elementos adversos do ambiente, tais como altitude, temperatura, chuva, água no solo e energia solar.

As épocas de semeadura impactaram sensivelmente no rendimento da cultivar tardia (BRS 8980 IPRO). Para esta cultivar é recomendado a semeadura no início do período chuvoso da região (em novembro), onde pode-se obter maiores médias de produtividade.

Pode-se afirmar que a escolha das épocas de semeadura tem papel fundamental no desenvolvimento e na estimativa do rendimento da lavoura de soja, bem como seu

comportamento frente às condições climáticas na região tocantinense, mostrando-se importante na redução de perdas na produção.

Dada à necessidade do conhecimento do comportamento e estabilidade produtiva das cultivares de soja recomendadas para o estado do Tocantins, especialmente em função da variabilidade e instabilidade climática da região, como altas temperaturas e elevadas taxas de evapotranspiração, além do predomínio de solos frágeis, este estudo contribuiu para o avanço do conhecimento, sendo que a sua continuidade se faz necessária.

## Apêndice

Tabela 2. Análise de variância entre dos fatores, número de vagens (NV), número de grãos (NG), diâmetro do caule (DC), número de nós (NN) e altura das plantas (Alt), observados entre as cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO, semeadas em duas épocas, na safra 2017/2018

| Fontes de Variação | GL    |       |      |      |      | QM        |        |        |        |         | P     |         |         |         |         |         |
|--------------------|-------|-------|------|------|------|-----------|--------|--------|--------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                    | NV    | NG    | DC   | NN   | Alt  | NV        | NG     | DC     | NN     | Alt     | NV    | NG      | DC      | NN      | Alt     |         |
| Cullt              | 1     | 1     | 1    | 1    | 1    | 2.202.424 | 54.316 | 10.017 | 81.000 | 850.888 | 838,1 | 0.0023* | 0.0002* | 0.0007* | 0.0010* | 0.0001* |
| Erro 1             | 6     | 6     | 6    | 6    | 6    | 86.143    | 0,791  | 0.244  | 2.280  | 11.102  | 0     |         |         |         |         |         |
| Trat               | 1     | 1     | 1    | 1    | 1    | 582.256   | 1,368  | 1.782  | 1.690  | 0.072   |       | 0.0055* | 0.0709  | 0.0042* | 0.0229* | 0.9410  |
| Cult*Trat          | 1     | 1     | 1    | 1    | 1    | 2.287.708 | 0,592  | 3.150  | 0.010  | 433.888 |       | 0.0002* | 0.1992  | 0.0010* | 0.8231  | 0.0010* |
| Erro 2             | 6     | 6     | 6    | 6    | 6    | 32,465    | 0,284  | 0.088  | 0.183  | 12.236  | 443,1 |         |         |         |         |         |
| Total              | 15    | 15    | 15   | 15   | 15   |           |        |        |        |         |       |         |         |         |         |         |
| CV 1 (%)           | 12,58 | 12,63 | 6,98 | 8,51 | 3,68 |           |        |        |        |         |       |         |         |         |         |         |
| CV 2 (%)           | 7,72  | 7,58  | 6,42 | 2,41 | 3,87 |           |        |        |        |         |       |         |         |         |         |         |

Tabela 3. Análise de variância entre dos fatores, massa da planta (MP), massa de mil grãos (MMG), rendimento por planta (RPP) e rendimento por área (RPA), observados entre as cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO, semeadas em duas épocas, na safra 2017/2018

| Fontes de Variação | GL    |      |       |      | QM     |        |         |         | P         |           |            |             |
|--------------------|-------|------|-------|------|--------|--------|---------|---------|-----------|-----------|------------|-------------|
|                    | MP    | MMG  | RPP   | RPA  | MP     | MMG    | RPP     | RPA     | MP        | MMG       | RPP        | RPA         |
| Cullt              | 1     | 1    | 1     | 1    | 74,1   | 9423,6 | 25,985  | 693993  | 0,165062  | 0,0*      | 0,0061418* | 0,00234025* |
| Erro 1             | 6     | 6    | 6     | 6    | 346,2  | 7237,8 | 111,461 | 4254865 | 0,007695* | 0,0*      | 0,0000172* | 0,00000061* |
| Trat               | 1     | 1    | 1     | 1    | 3300,9 | 553,4  | 69,264  | 1897527 | 0,0*      | 0,001424* | 0,000156*  | 0,00003641* |
| Cult*Trat          | 1     | 1    | 1     | 1    | 33,9   | 32,6   | 2,361   | 46994   |           |           |            |             |
| Erro 2             | 6     | 6    | 6     | 6    |        |        |         |         |           |           |            |             |
| Total              | 15    | 15   | 15    | 15   |        |        |         |         |           |           |            |             |
| CV 1 (%)           | 16,64 | 4,29 | 6,61  | 4,86 |        |        |         |         |           |           |            |             |
| CV 2 (%)           | 8,76  | 3,71 | 15,47 | 9,37 |        |        |         |         |           |           |            |             |

\*Significativo a 5% pelo teste F

## Apêndice

Tabela 4. Correlação entre os fatores, número de vagens (NV), número de galhos (NG), diâmetro do caule (DC), número de nós (NN), altura das plantas (Alt), massa da planta (MP), massa de mil grãos (MMG), rendimento por planta (RPP) e rendimento por área (RPA), observados entre as cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO, semeadas em duas épocas, na safra 2017/2018

|     | NV     | NG     | DC     | NN     | Alt    | MP    | MMG   | RPA   | RPP   |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| NV  | 1,000  |        |        |        |        |       |       |       |       |
| NG  | 0,759  | 1,000  |        |        |        |       |       |       |       |
| DC  | 0,837  | 0,857  | 1,000  |        |        |       |       |       |       |
| NN  | 0,635  | 0,921  | 0,730  | 1,000  |        |       |       |       |       |
| Alt | 0,091  | 0,623  | 0,395  | 0,708  | 1,000  |       |       |       |       |
| MP  | 0,838  | 0,323  | 0,538  | 0,195  | -0,418 | 1,000 |       |       |       |
| MMG | -0,127 | -0,584 | -0,243 | -0,724 | -0,645 | 0,255 | 1,000 |       |       |
| RPA | 0,356  | -0,110 | 0,218  | -0,376 | -0,539 | 0,616 | 0,789 | 1,000 |       |
| RPP | 0,729  | 0,449  | 0,603  | 0,221  | -0,063 | 0,705 | 0,293 | 0,725 | 1,000 |

Tabela 5. Acompanhamento do desenvolvimento fenológico das cultivares BRS 8980IPRO e Bônus IPRO, em duas épocas de semeadura, safra 2017/2018

| Data                           | Bônus      |            | BRS 8980IPRO |            |
|--------------------------------|------------|------------|--------------|------------|
|                                | E1         | E2         | E1           | E2         |
| 29/11/17                       | V1         |            | V1           |            |
| 07/12/17                       | V3         |            | V3           |            |
| 20/12/17                       | V6         |            | V7           |            |
| 28/12/17                       | R2         | V1         | V10          | V1         |
| 05/01/17                       | R3         | V3         | V13          | V3         |
| 09/01/17                       | R4         | V4         | R1           | V4         |
| 18/01/18                       | R4         | V6         | R2           | V5/V6      |
| 25/01/18                       | R5.1       | V8         | R3           | V7         |
| 01/02/18                       | R5.3       | R1         | R4           | V8         |
| 08/02/18                       | R5.3/R5.5  | R2         | R4           | V12        |
| 16/02/18                       | R6         | R3         | R5.1         | R1         |
| 22/02/18                       | R7         | R4         | R5.3         | R2         |
| 01/03/18                       | R7/R8      | R5.1/R5.3  | R6           | R3         |
| 08/03/18                       | R8         | R5.3       | R6           | R4         |
| 15/03/18                       |            | R6         | R7           | R5.3       |
| 23/03/18                       |            | R7         | R8           | R5.3       |
| 29/03/18                       |            | R8         | R8           | R6         |
| 05/04/18                       |            | R8         |              | R8         |
| 13/04/18                       |            |            |              | R8         |
| <b>Duração do ciclo (dias)</b> | <b>112</b> | <b>107</b> | <b>133</b>   | <b>115</b> |

## Referências

- BOARD, J. E; TAN, Q. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. **Crop science**, v. 35,n. 3, p. 846-851. 1995.
- CARVALHO, C. G. P.; ARIAS, C. A. A.; TOLEDO, J. F. F.; OLIVEIRA, M. F.; VELLO, N. A. Correlação e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 311-320, 2002.
- CHEN, K. I. et al. Soyfoods and soybean products: from traditional use to modern applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 96, n. 1, p. 9–22, 2012.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de grãos, acompanhamento da safra de grãos 2016/17**, Brasília, n. 10. p. 170, 2017.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de grãos, acompanhamento da safra brasileira de grãos 2017/18**, Brasília, v. 5, n. 12. p. 155, 2018.
- EVANGELISTA, B. A.; SILVA, F. A. M.; SIMON, J. CAMPOS, L. J. M.; VALE, T. M. **Zoneamento de risco climático para determinação de épocas de semeadura da cultura da soja na região MATOPIBA**. Palmas: Embrapa. 2017. (Boletim Técnico n. 18).
- FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3 (número especial: Zoneamento Agrícola), p.415-421, 2001.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special Report, n. 80).
- KÖPPEN, W. Das geographische system der klimare. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.). **Handbuch der klimatologie**. Berlin: Gebruder Borntraeger, p.1–44, 1936.
- MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre. UFRGS, 2005. 31p.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar** - Sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.
- RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. BENSON, G. O. **How a soybean plant develops**. Ames: University of Science and Technology, 1982. 20 p. (Special Report, n. 53).
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

VAZ BISNETA, M.; DUARTE, J.B.; MELLO FILHO, O. L.; ZITO, R. K.; RODRIGUES, J. S.; CARVALHO JUNIOR, E. M.; ALVARENGA, W. B. Correlação entre componentes de produção em soja como função de tipo de crescimento e densidade de plantas. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2015, Florianópolis. **Anais...** do VII Congresso Brasileiro de Soja - Tecnologia e mercado global: perspectiva para soja, 2015. v. 7.

ZENARO, M. de MORAIS; C. B.; ALBERICI, C. Desenvolvimento rural na perspectiva da administração: estudo de caso em pequenas propriedades rurais do município de Iomerê, SC. **Unoesc & Ciência – ACSA**, Joaçaba, v. 6, n. 2, p. 197-206, jul./dez. 2015.

ZHANG, J.; SMITH, D.L.; LIU, W.; CHEN, X.; YANG, W. Effects of shade and drought stress on soybean hormones and yield of main stem and branch. **Afr. J. Biotechnol**, v.10 p. 14392-14398. 2011.

## **5. CALIBRAÇÃO DO MODELO DSSAT CROPGRO-SOYBEAN PARA ESTIMATIVA DO DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO DA SOJA CULTIVADA NO ESTADO DO TOCANTINS**

### **Resumo**

O objetivo deste trabalho foi calibrar e avaliar o modelo Cropgro-soybean (DSSAT v 47) estimar o desenvolvimento e rendimento de duas cultivares de soja em duas épocas de semeadura, sob as condições climáticas e pedológicas tocantinenses. A calibração foi realizada com dados biométricos das cultivares BRS 8980 IPRO e Bônus IPRO (BRASMAX 7589) em função das épocas de semeadura em 19/11/2017 e 16/12/2017, um experimento de soja foi instalado em uma área delimitada no município de Aparecida do Rio Negro, região central do Estado do Tocantins, durante os anos 2017/18. Os dados obtidos pelo modelo foram comparados aos dados de campo, utilizando como base entre as comparações as variáveis, índice de área foliar (IAF), peso das folhas, peso dos galhos, peso aéreo e peso dos grãos. Para avaliação dos dados simulados e obtidos, foram utilizados indicadores estatísticos, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), índice D de Willmott e raiz quadrada do erro médio (RMSE). A cultivar BRS 8980 mostrou melhores resultados entre as comparações estatísticas e com índice de concordância acima de 0,8 entre as variáveis observadas, indicando boa concordância entre os dados do modelo simulados e os verificados em campo.

Palavras-chave: Sojicultura. Modelagem de culturas. Produtividade.

### **Abstract**

The objective of this work was to calibrate and evaluate the Cropgro-soybean model (DSSAT v 47) to estimate the development and yield of two soybean cultivars in two sowing seasons under climatic and soil conditions in Tocantins. The calibration was carried out with biometric data of cultivars BRS 8980 IPRO and Bonus IPRO (BRASMAX 7589) as a function of sowing dates on 11/19/2017 and 12/16/2017, a soy experiment was installed in a delimited area in the municipality of Aparecida do Rio Negro, central region of the State of Tocantins, during the years 2017/18. The data obtained by the model were compared to the field data, using as basis the comparisons the variables, leaf area index (LAI), leaf weight, shoot weight, aerial weight and grain weight. To evaluate the simulated and obtained data, we used statistical indicators, coefficient of determination ( $R^2$ ), Willmott D index and square root mean error (RMSE). The cultivar BRS 8980 showed better results between the statistical comparisons and with a concordance index above 0.8 among the observed variables, indicating good agreement between simulated model data and those verified in the field.

Key-words: Soybean crop. Crop modeling. Productivity.

## 5.1 Introdução

A soja é uma das culturas mais importantes no âmbito do agronegócio mundial, devido ao seu elevado valor agroeconômico, sendo utilizada principalmente como fonte de proteína animal, além dos diversos usos de seus subprodutos nas diferentes escalas industriais (LEE et al., 2015).

No Brasil, os produtos da soja são responsáveis por 23% das exportações brasileiras, sendo que, de acordo com a Conab (2018), o chamado complexo da soja (grão, farelo e óleo) geraram cerca de US\$ 40,963 bilhões em 2018, grãos (83,864 milhões de toneladas), farelo (16,892 milhões de toneladas) e óleo (1,342 milhões de toneladas).

O Estado do Tocantins que integra a região MATOPIBA – constituída por partes dos territórios dos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, tem despontado no cenário nacional como um grande produtor de grãos. Esta região foi responsável pela produção de aproximadamente 11% das 115 milhões de toneladas de soja na safra 2017/2018, na produção nacional, conforme dados da Conab (2018).

Atualmente, entre as culturas de grãos mais plantadas no Estado, tem-se a soja em primeiro patamar, considerando tanto em área de cultivo, quanto em produção, seguida do milho safrinha, arroz e feijão (FRAGOSO; CARDOSO, 2018).

Na safra 2018/19, a área plantada de soja no Estado do Tocantins atingiu 1,019 milhões de hectares, com produção de 2,9 milhões de toneladas e produtividade média de 2.855 kg.ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019).

O cenário atual mostra uma tendência cada vez maior para a adoção de ferramentas de planejamento de paisagens, boas práticas, tecnologias produtivas inovadoras que considerem aspectos socioambientais na gestão da propriedade rural. E neste sentido, a modelagem aplicada à produção agrícola, tem o objetivo de aprimorar a tomada de decisão baseando-se no uso da tecnologia da informação, para que isto melhore as técnicas de manejo da cultura no campo (SANTOS et al., 2001).

A compreensão dos processos biofísicos e as interações com processos no sistema de produção agrícola são fundamentos para a modelagem de culturas e, com esses princípios, vários sistemas de suporte à decisão agem como ferramenta de suporte na gestão do setor agrícola (MARIN, 2016).

Modelos de simulação de crescimento de plantas são ferramentas que permitem analisar cenários considerando além do desenvolvimento da planta, os fatores ambientais que influenciam a produtividade das culturas (DALLACORT et al., 2006). A modelagem em

culturas analisa em conjunto, a variabilidade climática e as oscilações de produtividade, além de explorar opções de gerenciamento ou ainda diminuir essas variações (CASTRO et al., 2017).

Talacuece (2014) destaca os principais modelos de crescimento de plantas (MCP) para avaliação fisiológica da soja, que são: APSIM (Agricultural Production Systems Simulator), de solo-cultura STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard) e DSSAT/Cropgro-soybean.

Nesse contexto, o DSSAT (JONES et al., 2003) apresenta-se como um modelo de sistema de cultivo que simula o crescimento e rendimento de uma cultura, ao longo do seu período de desenvolvimento, assim como a distribuição de água do solo, processos de carbono e práticas de manejo. O DSSAT constitui-se numa plataforma composta por módulos utilizados em diversos estudos que avaliam, estimam e simulam várias culturas em diversos sistemas e ambientes (DALLACORT et al., 2006; EVANGELISTA, 2011; NASSIF et al., 2012; SILVA et al., 2012; CASTRO et al., 2017; SILVA et al., 2017), entre outros estudos.

Os principais componentes do modelo são: um programa principal que controla o tempo de cada simulação; um módulo de solo, que gerencia as simulações que afeta o solo; e os módulos primários, que simulam individualmente os vários processos que afetam a unidade de terra, incluindo o tempo, o crescimento das plantas, processos do solo, práticas de ambiente solo-planta de interface e manejo. Já os submódulos específicos de cada cultura, operam exatamente como os primários, como por exemplo: o Cropgro, CERES-Maize, CERES-Wheat, SUBSTOR Potato, CERES-Rice, Canegro, entre outros (JONES et al., 2003).

O modelo de simulação de colheita Cropgro-soybean considera diferentes sensibilidades à temperatura e ao fotoperíodo durante diferentes estádios de desenvolvimento da cultura e/ou para diferentes cultivares de soja (SALMERÓN; PURCELL, 2016). Este modelo, segundo Dallacort et al. (2006), demonstra alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos, mostrando variação entre os diferentes cultivares.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi calibrar e avaliar o modelo Cropgro-soybean (DSSAT v. 47) para o cultivo da soja, considerando as cultivares BRS 8980 e Bônus IPRO (BRS 7985), em condições ambientais representativas do Estado do Tocantins.

## **5.2 Material e Métodos**

Para a avaliação do desenvolvimento e rendimento dos cultivos de soja, utilizou-se o Cropgro-soybean, módulo componente da plataforma DSSAT. Mas para a sua correta

aplicação, faz-se necessária a sua calibração nos diferentes ambientes de produção para as cultivares, uma vez que, dadas às suas características genéticas podem apresentar diferentes respostas as variáveis ambientais.

Por se tratar de um modelo mecanístico ou de processo, o Cropgro-soybean necessita de um número maior de variáveis quando comparado aos modelos empíricos e simples, sendo considerado portanto, um modelo complexo e nem sempre de fácil aplicação em escalas regionais, restringindo seu uso também para políticas públicas, por exemplo.

Para tanto, a calibração e a avaliação de funções matemáticas que representem o cultivo da soja e suas interações com os demais componentes do ambiente observados em campo, foi necessário realizar o monitorando das características específicas da cultura e informações gerais como: localização do experimento (local e dados de latitude, longitude e altitude), identificação da área experimental e do experimento realizado. Essas informações são importantes para o correto cadastramento nos modelos, uma vez que a nomenclatura de cada experimento segue um padrão básico.

O estudo foi conduzido a partir da instalação de um experimento na fazenda Boa Esperança, município de Aparecida do Rio Negro, localizado na região central do Estado do Tocantins, com coordenadas geográficas: 10°00'41'' de latitude sul, 48°09'25'' de longitude oeste e altitude de 535 metros.

A região apresenta clima tropical seco, classificação climática Aw (KÖPPEN, 1936), apresentando temperatura elevada durante todo o ano, com média anual de 26,6°C. O período chuvoso ocorre entre os meses de outubro a março, com pluviosidade média anual de 1.619 mm. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (SANTOS et al., 2013).

Foram utilizadas as cultivares BRS 8980 IPRO, de ciclo tardio, hábito de crescimento determinado e grupo de maturação 8.9; e a Bônus IPRO (BRASMAX 8579), de ciclo precoce, hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 7.9.

As cultivares de soja foram semeadas e conduzidas pelo sistema de plantio direto na palha, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e densidade de semeadura de 13 sementes por metro linear. A semeadura ocorreu em duas épocas, sendo a primeira no dia 16/11/2017, e a segunda no dia 19/12/2017.

A 'Bônus' semeada na primeira época foi colhida na data de 08/03/18, e a 'BRS 8980 IPRO', em 29/03/18, totalizando ciclos de 112 e 133 dias, respectivamente. Para os plantios realizados em segunda época, a colheita da 'Bônus' ocorreu no dia em 05/04/18, totalizando 107 dias de ciclo; e a 'BRS 8980 IPRO' colhida em 13/04/18, e apresentou 115 dias de ciclo.

Foi instalada uma estação agrometeorológica, marca Campbell, para medições das variáveis meteorológicas e de solo, tais como temperatura e umidade do ar, temperatura e umidade do solo, chuva, radiação solar e velocidade e direção do vento.

Os sensores de umidade do solo foram instalados nas profundidades de 0 – 30 cm, 30 – 60 cm e 60 – 90 cm. Foram instalados também dois sensores de radiação solar (barra Par), entre duas linhas de plantio e à 10 cm do solo, para obtenção do índice de área foliar (IAF), estimado em função da interceptação solar.

### 5.2.1 Informações do solo

Neste modelo e nos principais modelos de crescimento e rendimento de culturas, são necessários a inserção de dados referentes ao tipo de solo ambiente. Portanto foram coletadas amostras de solo, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 60-80 cm ao longo do perfil.

As análises de solo forneceram os dados de fertilidade, pH, e a análise física do solo para a obtenção dos parâmetros da curva de retenção de água, tais como tensões a -10 kPa (capacidade de campo – CC) e -1500 kPa (ponto de murcha permanente – PMP).

Para avaliação química dos solos, foram realizadas análise de textura ou granulometria (teores de areia, silte e argila), matéria orgânica, saturação de bases e macronutrientes, conforme preconizado por Ritchie et al. (2009).

Das amostras de solo indeformadas, foram estimadas curva de retenção de água para a obtenção dos índices de saturação de água, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e densidade. Adicionalmente, foram realizadas amostras deformadas para determinação da umidade do solo e calibração dos sensores de umidade conectados à estação meteorológica.

### 5.2.2 Medidas biométricas das cultivares

Foi realizado o acompanhamento semanal do ciclo de desenvolvimento vegetativo das duas cultivares, utilizando como base as escalas fenológicas de Fehr; Calviness (1977) e Ritchie et al. (1982).

No monitoramento dos estádios fenológicos, foram registradas as datas de semeadura, emergência, floração, e maturação completa. Também foram tomadas as medidas biométricas das plantas, tais como: biomassa aérea (massa das folhas, do caule e das vagens) e o índice de

área foliar (IAF), sendo que o IAF foi obtido tanto com o equipamento de medida direta em campo, o LAI 2000 (LICOR, 1992), e também por meio do equipamento integrador de área foliar (LAI 3100).

Durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, foram realizadas 7 amostragens para a realização das avaliações biométricas dos cultivos de primeira época, e 5 coletas na segunda. Realizou-se também análises destrutivas para a obtenção do peso úmido e peso seco de folhas, caule, vagem, e índice de área foliar, realizadas no Integrador de Área Foliar 3100 (análise úmida).

### 5.2.3 Calibração do modelo DSSAT

A calibração do modelo Cropgro-soybean (DSSAT v. 47), foi realizada a partir da inserção de variáveis de campo que alimentaram o modelo.

Com a adição dos dados locais (latitude, longitude e elevação) e os dados de climáticos (temperaturas máxima e mínima, precipitação e radiação solar), foi gerado um arquivo que corresponde a uma estação local, no submódulo de clima do modelo. Com as coletas de solo (análises químicas e físicas), foram inseridas no submódulo de solo, gerando um arquivo de solo com todas as características requeridas. Por fim, os dados da planta (estádio fenológico, pesos da planta, de folhas, galhos e vagens) foram cadastrados dentro da base de dados do modelo da cultura.

Com os dados de clima, solo e planta inseridos dentro do modelo Cropgro-soybean foram realizadas as simulações de desenvolvimento e rendimento da planta de soja, considerando cada cultivar.

Para validar a calibração, os dados obtidos das coletas em campo foram comparados estatisticamente com as variáveis geradas pelo modelo (IAF, peso das folhas, peso do caule, peso aéreo e peso dos grãos).

Para realizar a análise estatística, considerou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), raiz do quadrado médio (RMSE) (LOAGUE; GREEN, 1991), e o índice de concordância de Willmott, d-Stat (WILLMOTT et al., 1982).

### 5.3 Resultados e Discussão

Para ilustrar o comportamento das condições climáticas durante o período de condução do experimento, a variabilidade da chuva e da temperatura estão apresentados na Figura 1, onde observa-se boa oferta hídrica durante quase todo o período de cultivo.

Percebe-se que ocorreu veranico na fase de desenvolvimento vegetativo dos cultivos de primeira época, mas sem causar prejuízo às plantas.

O comportamento da umidade do solo e da radiação solar estão apresentados na Figura 2, com poucos picos de redução da umidade do solo e um grande número de baixa incidência solar, especialmente durante o período da segunda época de plantio.

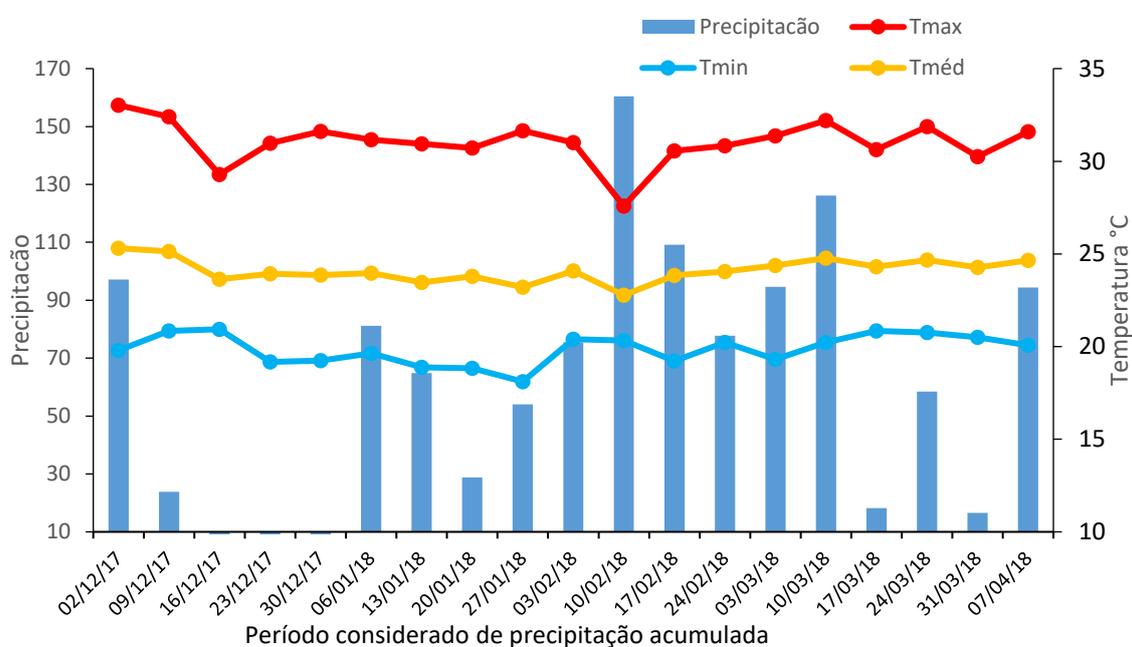


Figura 1. Valores mensais de temperatura mínima, média e máxima (°C) e precipitação acumulada (mm) entre os dias de cada coleta, período de 26/11/2017 a 12/04/2018, medidos na Fazenda Boa Esperança, município de Aparecida do Rio Negro – TO

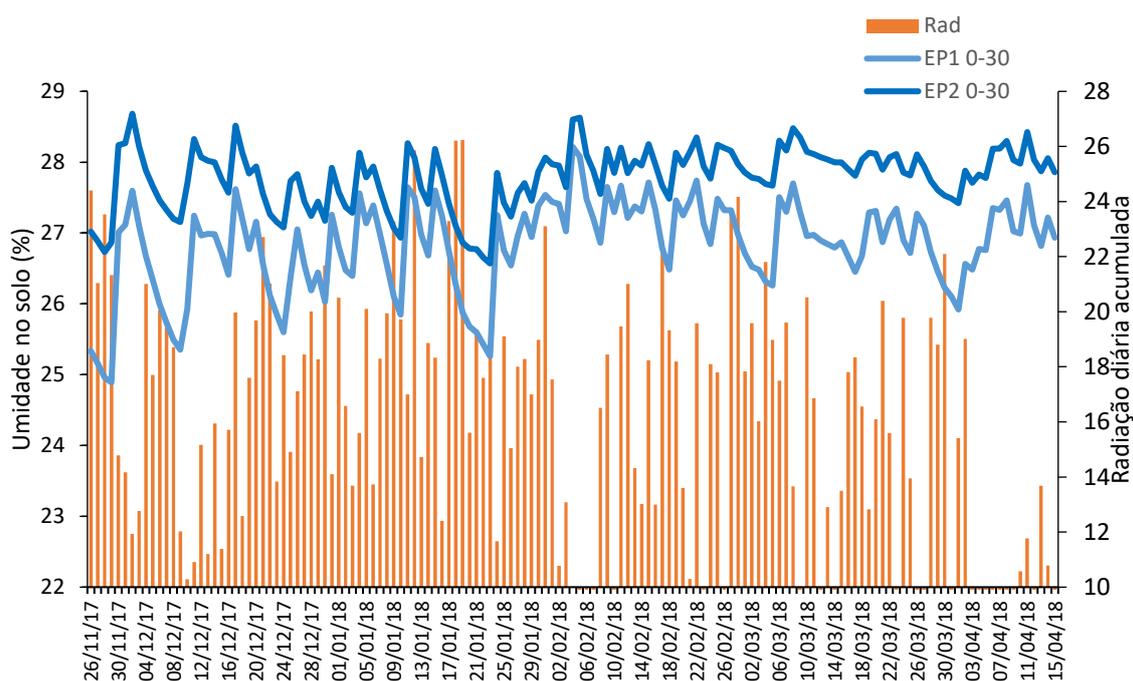


Figura 212. Dados de radiação solar diária acumulada (MJ) e umidade do solo (%) na profundidade de 0 - 30 cm, registrados nas duas épocas de plantio

O solo onde foi conduzido o experimento já apresentava bom nível de fertilidade, obtida pelo histórico de cultivo com uso do plantio direto, sob boa cobertura de palhada. Com as análises de solo, foram incorporados ao modelo, os dados obtidos em campo e realizada a calibração do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros de entrada utilizados na calibração do solo Latossolo Vermelho-Amarelo da região, incorporados à base de dados do DSSAT v 47

| SLB | SLLL | SDUL | SSAT | SRGF | SSKS | SBDM | SLOC | SLCL | SLSI | SLNI | SLHW |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10  | 0.14 | 0.28 | 0.32 | 1    | 0.2  | 1.4  | 1.75 | 33   | 55   | 0.17 | 5.7  |
| 20  | 0.14 | 0.28 | 0.32 | 1    | 0.2  | 1.4  | 1.75 | 33   | 55   | 0.17 | 5.7  |
| 30  | 0.15 | 0.28 | 0.32 | 1    | 0.2  | 1.5  | 1.6  | 33   | 55   | 0.17 | 5.7  |
| 40  | 0.16 | 0.28 | 0.32 | 1    | 0.2  | 1.5  | 1.45 | 33   | 55   | 0.14 | 5.7  |
| 50  | 0.16 | 0.28 | 0.32 | 0.8  | 0.2  | 1.4  | 1.45 | 33   | 55   | 0.14 | 5.7  |
| 60  | 0.17 | 0.28 | 0.32 | 0.7  | 0.2  | 1.4  | 1.1  | 33   | 55   | 0.11 | 5.7  |
| 90  | 0.2  | 0.28 | 0.31 | 0.3  | 0.2  | 1.4  | 0.65 | 33   | 55   | 0.06 | 5.7  |

SLB= profundidade das camadas (cm), SLLL = limite inferior ou ponto de murcha (cm<sup>3</sup>), SDUL= limite superior (cm<sup>3</sup>), SSAT= saturação (cm<sup>3</sup>), SRGF= fator de crescimento da raiz, SSKS= condutividade hidráulica (cm h<sup>-1</sup>), SBDM= densidade (g cm<sup>3</sup>), SLOC= carbono orgânico (%), SLCL= argila (%), SLSI= silte, SLNI= total de nitrogênio (%) e SLHW= pH na água

Os dados e informações de solo, clima e planta foram incorporados ao modelo Cropgro-soybean, para realização das simulações de desenvolvimento da cultura e rendimento da cultura

e, com isso, verificar se os resultados simulados pelo modelo representam aqueles obtidos em condições de campo, com a precisão e rigor estatístico preconizado. Os parâmetros genéticos dos cultivares estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos parâmetros genéticos das cultivares e unidades de medidas no modelo DSSAT Cropgro-soybean

| <b>Sigla</b> | <b>Unidade</b>                           | <b>Descrição</b>  |
|--------------|--|---|
| CSDL         | horas                                    | Comprimento crítico do dia abaixo do qual o desenvolvimento reprodutivo progride        |
| PPSEN        | 1/hora                                   | Declive da resposta relativa do desenvolvimento ao fotoperíodo com o tempo              |
| EM-FL        | dias fototérmicos                        | Tempo entre a emergência das plantas e a aparência das flores (R1)                      |
| FL-SH        | dias fototérmicos                        | Tempo entre a primeira flor e a primeira vagem (R3)                                     |
| FL-SD        | dias fototérmicos                        | Tempo entre a primeira flor e a primeira semente (R5)                                   |
| SD-PM        | dias fototérmicos                        | Tempo entre a primeira semente (R5) e a maturidade fisiológica (R7)                     |
| FL-LF        | dias fototérmicos                        | Tempo entre a primeira flor (R1) e o final da expansão foliar                           |
| LFMAX        | (mg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> -s) | Taxa máxima de fotossíntese foliar a 30 °C, 350 vpm CO <sub>2</sub> e alta luminosidade |
| SLAVR        | (cm <sup>2</sup> / g)                    | Área foliar específica da cultivar sob condições de crescimento padrão                  |
| SIZLF        | (cm <sup>2</sup> )                       | Tamanho máximo da folha estendida (trifólio)  |
| XFRT         |  | Fração máxima de crescimento diário que é particionado para semente+vagem               |
| WTPSD        | (g)                                      | Peso máximo por semente   |
| SFDUR        | (dias fototérmicos)                      | Duração do enchimento de sementes nas condições normais de crescimento                  |
| SDPDV        | (# / vagem)                              | Média de sementes por vagem em condições normais de crescimento                         |
| PODUR        | (dias fototérmicos)                      | Tempo necessário para a cultivar atingir as condições ideais de vagens                  |

De maneira geral, as cultivares BRS 8980, e Bônus IPRO (BRASMAX 8579), apresentaram bom desenvolvimento na primeira época, onde os dados observados por meio das coletas ao longo do ciclo de desenvolvimento das culturas apresentaram padrão de desenvolvimento similar aos simulados pelo modelo. Com o bom regime de chuvas registrado nesta safra, as lavouras não foram penalizadas por estresse hídrico, e com isso, a BRS 8980 apresentou rendimento médio de 3.557,64 kg.ha<sup>-1</sup>, enquanto a Bônus atingiu 3,285,41 kg.ha<sup>-1</sup>, sendo que em ambos os casos, superaram a produtividade média do município de Aparecida do Rio Negro, que foi de 2.700 kg.ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2018).

Por outro lado, os cultivos realizados na segunda época foram marcados por fatores ambientais adversos, que tiveram reflexos no desenvolvimento e rendimento das plantas, em especial, da cultivar (BRS 8980). Esta apresentou menor produção de vagens e rendimento de grãos, o que, segundo Major et al. (1975), pode ser compreendido como sendo uma resposta à sua maior sensibilidade ao fotoperíodo, em especial na fase de floração. Este comportamento em regra não afeta o rendimento dos cultivares de ciclo precoce.

Na segunda época de plantio, a cultivar BRS 8980 apresentou rendimento inferior, e esta quebra de rendimento pode estar associado ao elevado volume de chuva observado, com

resultado na saturação do solo e conseqüente baixa aeração, ainda, à baixa luminosidade pela atmosfera encoberta por nuvens (Figura 2) durante a fase de desenvolvimento e reprodutiva da lavoura. Ainda, a combinação das condições de elevadas temperaturas e umidade do ar (e do solo) foram propícias para o ataque de pragas (lagartas) e doença (ferrugem) na fase final do ciclo (enchimento de grãos e maturação).

Ocorreu também a variação do ciclo da BRS nas épocas de semeadura, reduzindo de 133 para 115 dias entre primeira e segunda épocas (Tabela 5). Neste sentido, recorrendo a Dallacort et al. (2006), conforme a semeadura for realizada mais tarde o ciclo da soja diminui. Tal fato pode ter contribuído para a baixa produtividade da cultivar, que conforme Rodrigues et al. (2001), o fotoperíodo é um dos fatores determinantes para o desenvolvimento completo do ciclo da soja, além de prejudicar severamente o rendimento da segunda época, que em média foi de 1.362 kg.ha<sup>-1</sup>.

A cultivar precoce mostrou pouca variação na duração do seu ciclo, entre uma época e outra, e mais resistente as alterações do fotoperíodo, ainda sim apresentou queda de rendimento (2.943 kg.ha<sup>-1</sup>) entre a primeira e a segunda época. Ressalta-se que esta cultivar não sofreu ataques de pragas e doenças, mas também foi submetida a excedentes hídricos e baixa luminosidade.

Na Tabela 3 estão listados os coeficientes genéticos utilizados no processo de calibração válidos para as cultivares BRS 8980 e Bônus Ipro.

Tabela 3. Dados e valores dos parâmetros utilizados na calibração modelo DSSAT Cropgro-soybean para as cultivares Bônus Ipro e BRS 8980.

| Parâmetro | Bônus Ipro | BR8980 |
|-----------|------------|--------|
| CSDL      | 13         | 12.33  |
| PPSEN     | 0.32       | 0.32   |
| EM-FL     | 30         | 40     |
| FL-SH     | 10         | 15     |
| FL-SD     | 23         | 27     |
| SD-PM     | 26         | 22     |
| FL-LF     | 35         | 32     |
| LFMAX     | 1.43       | 1.33   |
| SLAVR     | 320        | 280    |
| SIZLF     | 400        | 400    |
| XFRT      | 1          | 1      |
| WTPSD     | 0.17       | 0.16   |
| SFDUR     | 23         | 23     |
| SDPDV     | 2.05       | 2.05   |
| PODUR     | 10         | 10     |

As cultivares de ciclo precoce e tardio apresentaram diferenças entre os coeficientes genéticos ajustados (Tabela 3), ainda que semeadas na mesma data, observadas no comprimento crítico do dia (CSDL), comprovando as diferenças citadas por Major et al. (1975). Além das diferenças entre o período entre a emergência e o aparecimento da primeira flor (EM-FL), tempo entre a primeira flor e primeira vagem (FL-SH), tempo entre a primeira flor e primeira semente (FL-SD), formação das sementes e maturidade fisiológica das vagens (SD-PM), tempo entre a primeira flor e a expansão foliar (FL-LF).

Os índices de taxa máxima de fotossíntese da folha (LFMAX) e de área foliar específica sob crescimento padrão (SLAVR) também apresentam diferenças entre as cultivares, tais coeficientes são conforme Anothai et al. (2008) indicadores de desempenho das culturas para o modelo Cropgro.

Observam-se também parâmetros que não apresentaram alterações ou diferenças entre as cultivares, tais como: tamanho máximo da folha estendida (SIZLF), a máxima fração de crescimento diário entre semente e vagem (XFRT), duração do período de enchimento das sementes nas vagens (SFDUR), média de sementes por vagens (SDPDV), tempo necessário para a cultivar ter condições ideais de vagens (PODUR). Outro indicador com baixa diferença verificada na Tabela 3, foi o peso máximo de semente (WTPSD).

Como observado em campo, a cultivar tardia apresentou atraso entre suas fases de desenvolvimento em relação a precoce, e a pouca diferença entre o peso dos grãos. O modelo mostrou sensibilidade à variação destes parâmetros para a BRS 8980 e Bônus IPRO, e ainda, sob as condições ambientais equivalentes, cada coeficiente genético foi ajustado para cada uma das cultivares.

Os dados obtidos em campo foram comparados estatisticamente com os gerados pelo modelo Cropgro-soybean (Tabela 4). As variáveis observadas do modelo tais como índice de área foliar (IAF), peso das folhas, peso dos galhos, peso aéreo e peso dos grãos foram adotadas para analisar e representar o desenvolvimento e rendimento das cultivares, por meio da comparação dos dados simulados e obtidos em campo, com os mesmos utilizados em estudos anteriores por Silva et al. (2017). Esta validação dos dados é de suma importância na compreensão de sua aplicabilidade e na eficiência de sua calibração.

Para tanto, foram aplicados os seguintes testes estatísticos: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a raiz do quadrado médio (RMSE) e o índice de concordância de Willmott, (d-Stat ou D). Estes índices estatísticos foram aplicados em estudos de validação da eficiência do modelo DSSAT para a cultura da soja, milho e também da cana-de-açúcar (NASSIF et al., 2012; SILVA et al., 2012; SILVA et al., 2017).

Tabela 4. Parâmetros estatísticos avaliados no processo de calibração do modelo Cropgro-soybean para as cultivares de soja Bônus IPRO e BRS 8980 em duas épocas de semeadura em propriedade representativa do Tocantins, sendo avaliadas as variáveis Índice de Área Foliar (IAF), peso seco das folhas, peso seco do caule, peso seco aéreo e peso seco dos grãos

| Parâmetros                   | Bônus EP 1 | Bônus EP 2 | BRS EP 1 | BRS EP 2 |
|------------------------------|------------|------------|----------|----------|
| <b>IAF</b>                   |            |            |          |          |
| R <sup>2</sup>               | 0.143      | 0.798      | 0.862    | 0.97     |
| RMSE                         | 2.081      | 1.526      | 1.768    | 0.754    |
| d-Stat                       | 0.56       | 0.753      | 0.808    | 0.96     |
| <b>Peso da folha (seca)</b>  |            |            |          |          |
| R <sup>2</sup>               | 0.617      | 0.517      | 0.877    | 0.981    |
| RMSE                         | 1197.011   | 676.864    | 1455.369 | 319.183  |
| d-Stat                       | 0.721      | 0.756      | 0.741    | 0.962    |
| <b>Peso do caule (seco)</b>  |            |            |          |          |
| R <sup>2</sup>               | 0.825      | 0.546      | 0.929    | 0.987    |
| RMSE                         | 436.926    | 725.916    | 618.246  | 1148.766 |
| d-Stat                       | 0.95       | 0.808      | 0.963    | 0.811    |
| <b>Peso aéreo (seco)</b>     |            |            |          |          |
| R <sup>2</sup>               | 0.94       | 0.936      | 0.977    | 0.972    |
| RMSE                         | 1609.12    | 983.174    | 1063.236 | 979.319  |
| d-Stat                       | 0.951      | 0.969      | 0.98     | 0.958    |
| <b>Peso dos grãos (seco)</b> |            |            |          |          |
| R <sup>2</sup>               | 0.989      | 0.99       | 0.995    | 1        |
| RMSE                         | 516.661    | 509.648    | 419.166  | 285.388  |
| d-Stat                       | 0.983      | 0.972      | 0.983    | 0.942    |

As duas cultivares, de maneira geral, tiveram resultados satisfatórios na calibração. Entretanto, a cultivar Bônus cultivada na primeira época apresentou o IAF com R<sup>2</sup> de 0.143 sendo um valor muito abaixo do recomendado. Conforme Oliveira (2016) valores variam de 0 a 1 sendo que o valor próximo de 1 pode indicar que o modelo proposto é adequado para descrever o fenômeno, e que quanto mais próximo de 0, não seria indicado. Em adicional, o índice de concordância de Willmott (d-Stat ou D) apresenta valor considerado aceitável de 0.56, sendo que Oliveira (2016), cita que o índice de concordância pode assumir valores de 0 a 1, onde 0 é a total discordância e 1, refere-se a exata concordância na relação de modelo e método.

Na segunda época, a cultivar Bônus apresentou melhores resultados estatísticos no processo de calibração e ajustes, com R<sup>2</sup> de 0.798 e D= de 0.753. Estes índices mostram boa concordância entre os dados observados com os simulados pelo modelo. As diferenças entre os dados observados e simulados estão expressos na Figura 3.

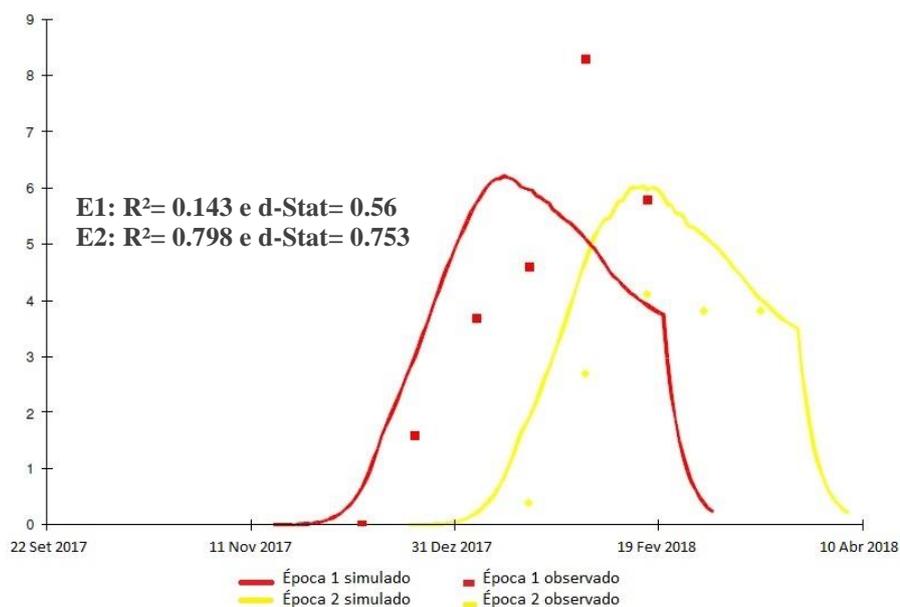


Figura 3. O índice de área foliar (IAF) da cultivar Bônus nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época

A cultivar BRS 8980 apresentou melhores resultados de ajustes de IAF para as duas épocas, com  $R^2$  de 0.86 e 0.97 e  $D= 0.80$  e 0.96, respectivamente. Estes valores demonstram que os dados gerados pelo modelo estão em concordância, com baixo erro de estimativa, com os dados que foram observados em campo, conforme observado na Figura 4.

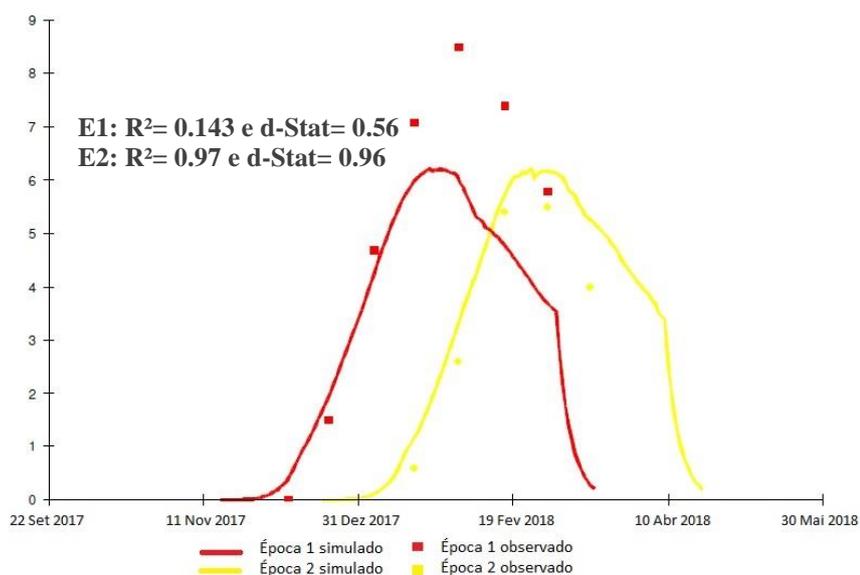


Figura 4. O índice de área foliar (IAF) da cultivar BRS 8980 nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época

A variável peso da folha seca dos cultivares avaliados, apresentou boa correlação entre os dados observados em campo e os estimados pelo modelo. Para a Bônus os índices de correlação e concordância foram;  $R^2=0.617$  e  $D=0.721$  na primeira época, e  $R^2= 0.517$  na segunda época. Oliveira (2016) ressalta que os valores do coeficiente de determinação  $R^2$  não deverão ser observados individualmente em estudos de concordâncias de métodos ou modelos, mas que servem nas tomadas de decisão, desde que, considerados em conjunto com outras medidas que expressem a qualidade destes métodos ou modelos, como o índice de concordância de Willmont, que, para esta mesma variável, tem valor  $D=0.756$ , indicando uma boa concordância entre os dados.

Estes índices com baixa e aceitável concordância entre os dados observados e os simulados verificados na Figura 5, mostram que os dados obtidos em campo, representados por pontos no gráfico, estão discrepantes dos dados simulados pelo modelo, representados pelas curvilíneas.

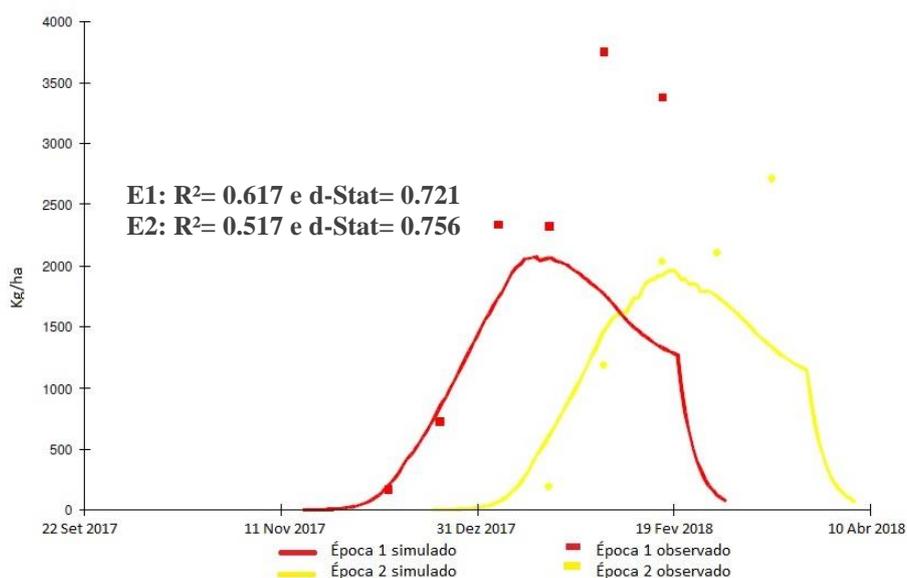


Figura 5. A variável peso das folhas da cultivar Bônus nas duas épocas de cultivo ao longo do ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época

Como na variável anterior, o peso da folha da cultivar tardia apresentou bons índices de correlação e entre valores simulados e medidos nas duas épocas. Na primeira época os índices de concordância e correlação ajustados ao modelo foi de  $R^2= 0.877$  e  $D= 0.741$ , enquanto na segunda época os valores simulados em relação aos observados foram ainda melhores, com  $R^2=0.981$  e  $D=0.962$ . Conforme a Figura 6, o modelo apresentou maior precisão na calibração referente aos dados da BRS 8980 observados na segunda época.

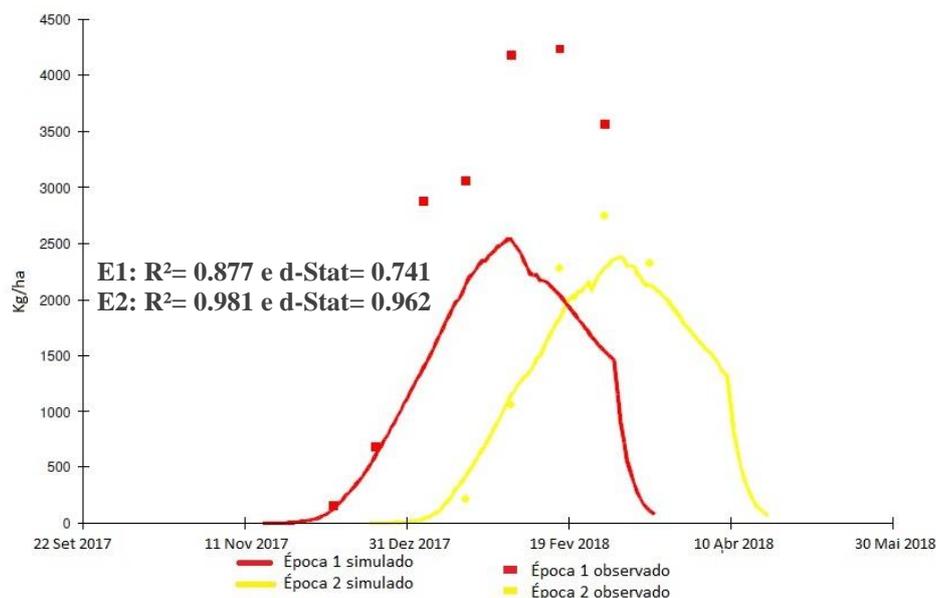


Figura 6. A variável peso das folhas da cultivar BRS 8980 nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época

O peso do caule, assim como o peso das folhas, são variáveis que representam o desenvolvimento da planta na fase vegetativa. O avanço desta fase para a reprodutiva afeta o desenvolvimento das vagens e grãos, como cita Mundstock; Thomas (2005). A cultivar Bônus apresentou ótima correlação e concordância entre os dados obtidos e os simulados (Figura 7). Na primeira época os valores do coeficiente de determinação e de correlação,  $R^2=0.825$  e  $D=0.95$ , apresentam evidências de melhor desempenho na primeira época do que se comparado à segunda, com  $R^2=0.546$  e  $D=0.808$ , respectivamente.

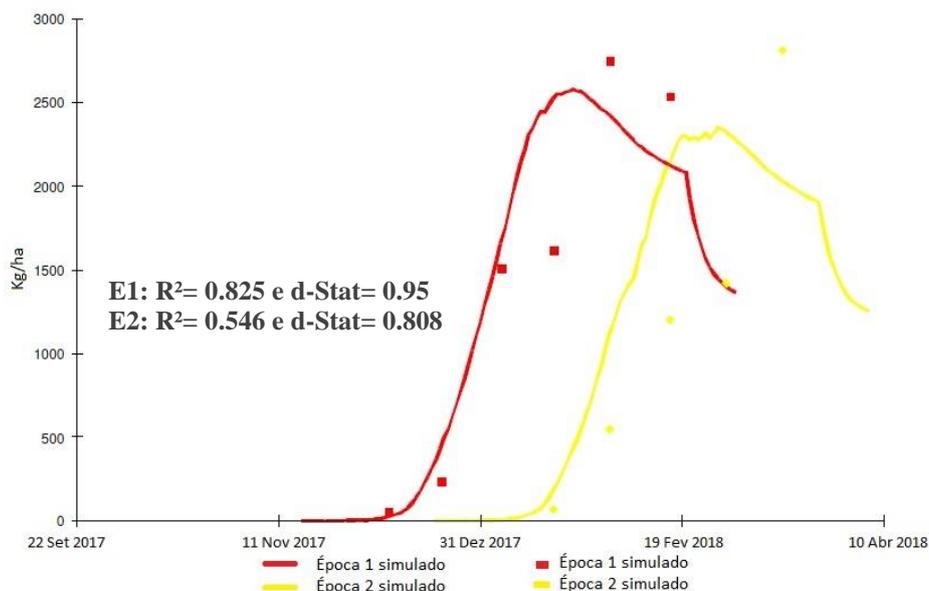


Figura 7. A variável peso do caule da cultivar Bônus nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época

No processo de calibração referente ao cultivar BRS 8980, o ajuste entre os dados observados e simulados apresentaram índices significativos nas duas épocas, conforme demonstrado na Figura 8, com valores de  $R^2=0.929$  e  $R^2= 0.987$  na primeira e segunda época, respectivamente. Ressalta-se que os valores do coeficiente de determinação mais próximos de 1 indicam que o modelo proposto é mais adequado para descrever o fenômeno estudado. Em relação ao índice de concordância, este também apresentou valores próximos de 1,  $D= 0.963$  e  $D=0.811$ , para primeira e segunda época de plantio, respectivamente.

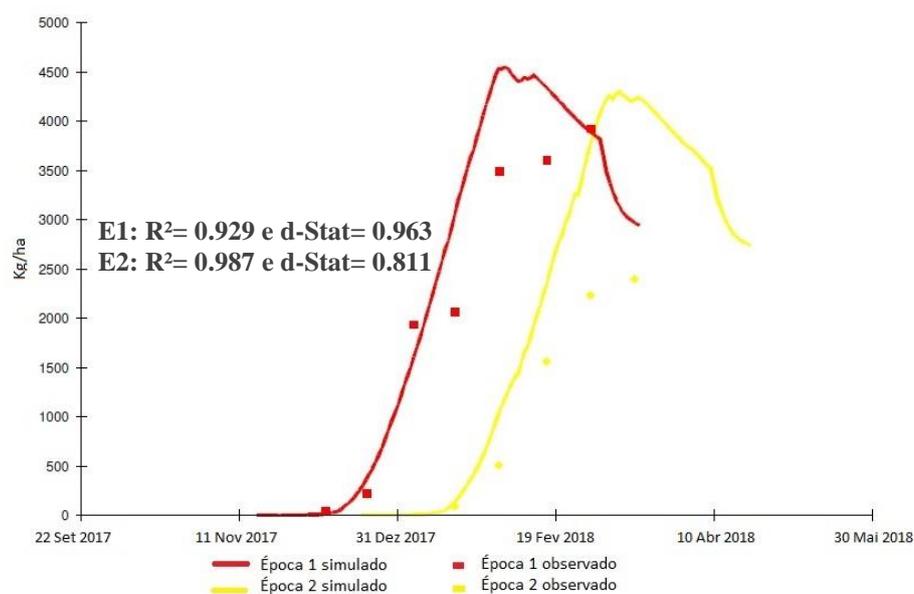


Figura 8. Variável peso do caule da cultivar BRS 8980 nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época

O peso aéreo da planta ou biomassa aérea é outro parâmetro com sensibilidade considerável nos processos de calibração dos modelos de processos. Conforme mostrado na Figura 9, percebe-se que foi obtido um bom ajuste entre os dados observados e simulados, com índices de determinação elevados, com  $R^2= 0.94$  na primeira época e  $R^2= 0.936$  segunda época, bem como índices de Willmont  $D= 0.951$  na primeira época e  $D= 0.969$  na segunda. A cultivar tardia apresentou comportamento similar à precoce nesta mesma variável, com coeficientes de determinação  $R^2= 0.977$  para a primeira época e  $R^2= 0.972$  na segunda. Obteve-se também bons resultados de correlação e alta concordância para a primeira época ( $D=0.98$ ) e para a segunda ( $D=0.958$ ), de acordo com a Figura 10.

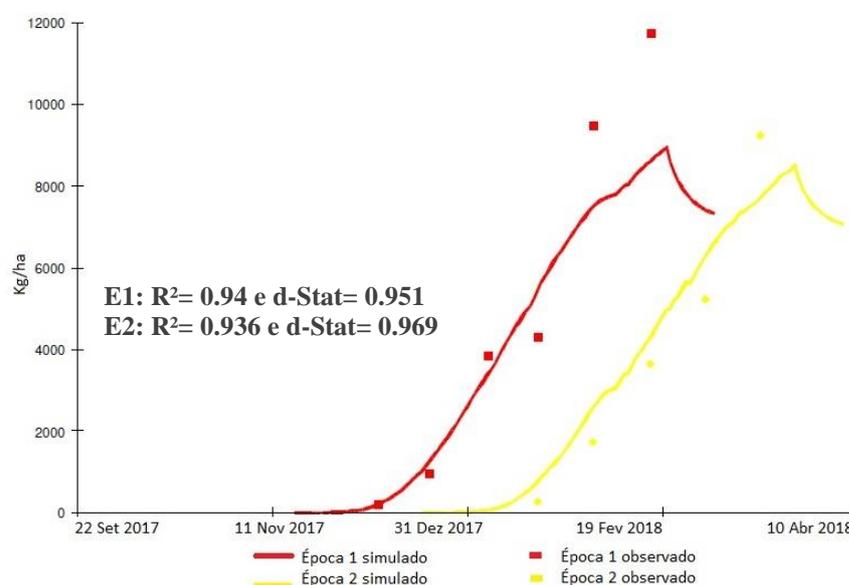


Figura 9. Variável peso aéreo da cultivar Bônus nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época

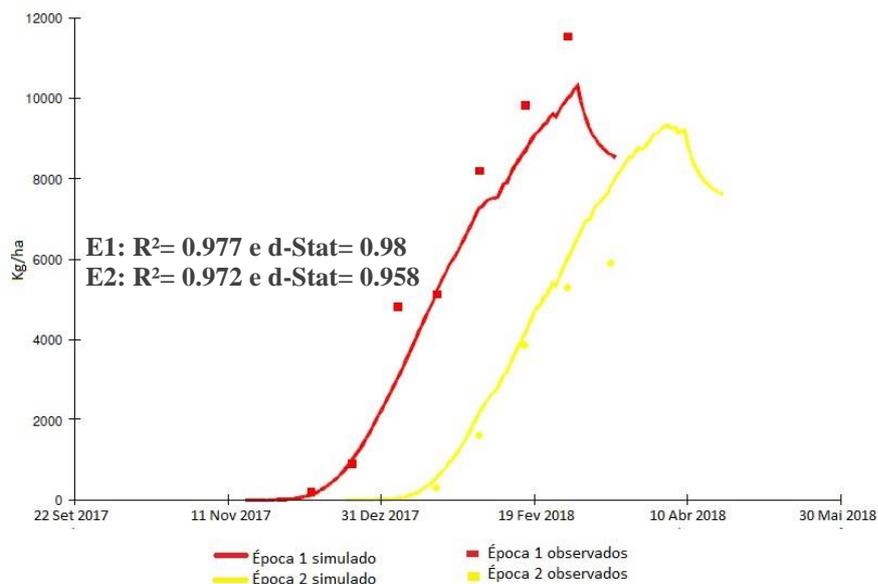


Figura 10. Variável peso aéreo da cultivar BRS nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época

A proposta de compreensão do processo de produção, resulta das interrelações entre as variáveis componentes do solo e do clima como determinantes da expressão do potencial produtivo da cultura. Neste contexto torna-se um desafio prever e estimar o rendimento das lavouras, ou seja, o quanto da produção de fotoassimilados é particionado entre os componentes da planta e quanto resulta na produção de grãos. Nesse sentido, a variável peso dos grãos reverte-se no principal parâmetro no processo de calibração e validação do modelo proposto.

Assim como no estudo de Silva et al. (2012), o modelo foi capaz de simular com precisão os dados medidos e observados entre as duas cultivares (Figura 11 e 12). A cultivar Bônus apresentou coeficientes de determinação bem ajustados na primeira época ( $R^2=0.989$ ), bem como na segunda época ( $R^2= 0.99$ ). Obteve-se também índices de concordância bem ajustados, sendo  $D=0.983$  na primeira época e  $D=0.972$  para a primeira e segunda época de plantio, respectivamente.

A cultivar BRS 8980 também apresentou bom ajuste, com coeficiente de determinação  $R^2=0.995$  e concordância  $D=0.983$  na primeira época,  $R^2=1$  e  $D=0.942$  na segunda época, evidenciando boa acurácia no ajuste do modelo,

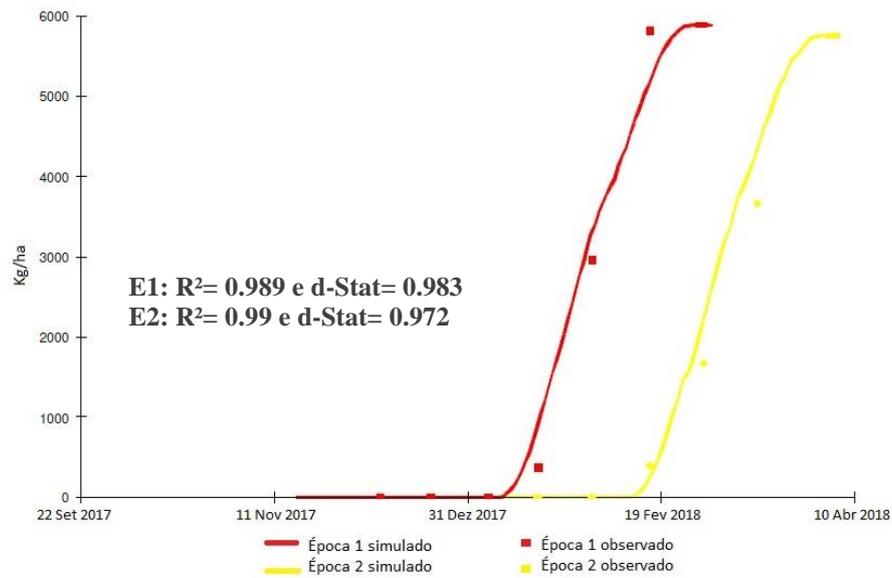


Figura 11. Variável peso dos grãos da cultivar Bônus nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época

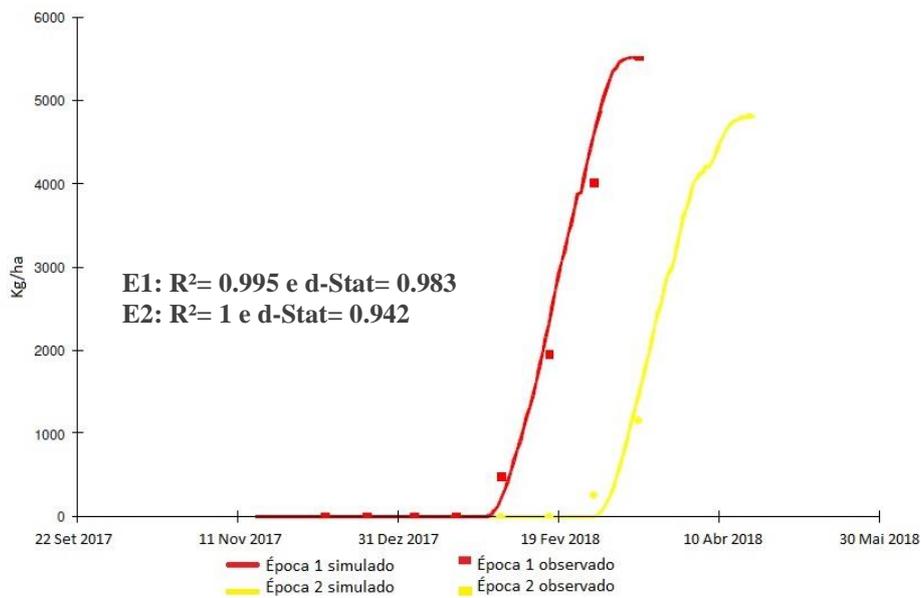


Figura 12. Variável peso dos grãos da cultivar BRS 8980 nas duas épocas de cultivo ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, representado por vermelho a primeira época e, amarelo a segunda época

Tabela 5. Acompanhamento do desenvolvimento fenológico das cultivares BRS 8980 IPRO e Bônus IPRO, em duas épocas de semeadura

| Data                    | Bônus      |            | BRS 8980 IPRO |            |
|-------------------------|------------|------------|---------------|------------|
|                         | E1         | E2         | E1            | E2         |
| 29/11/17                | V1         |            | V1            |            |
| 07/12/17                | V3         |            | V3            |            |
| 20/12/17                | V6         |            | V7            |            |
| 28/12/17                | R2         | V1         | V10           | V1         |
| 05/01/17                | R3         | V3         | V13           | V3         |
| 09/01/17                | R4         | V4         | R1            | V4         |
| 18/01/18                | R4         | V6         | R2            | V5/V6      |
| 25/01/18                | R5.1       | V8         | R3            | V7         |
| 01/02/18                | R5.3       | R1         | R4            | V8         |
| 08/02/18                | R5.3/R5.5  | R2         | R4            | V12        |
| 16/02/18                | R6         | R3         | R5.1          | R1         |
| 22/02/18                | R7         | R4         | R5.3          | R2         |
| 01/03/18                | R7/R8      | R5.1/R5.3  | R6            | R3         |
| 08/03/18                | R8         | R5.3       | R6            | R4         |
| 15/03/18                |            | R6         | R7            | R5.3       |
| 23/03/18                |            | R7         | R8            | R5.3       |
| 29/03/18                |            | R8         | R8            | R6         |
| 05/04/18                |            | R8         |               | R8         |
| 13/04/18                |            |            |               | R8         |
| <b>Duração do ciclo</b> | <b>112</b> | <b>107</b> | <b>133</b>    | <b>115</b> |

## 5.4 Conclusão

Considerando os resultados do presente estudo, destaca-se que foi realizada com eficiência a calibração e a validação do modelo Cropgro-soybean (DSSAT v 47) para estimar o desenvolvimento e rendimento de duas cultivares comerciais de soja cultivadas em duas épocas de semeadura, em propriedade rural localizada em região representativa do bioma Cerrado do estado do Tocantins.

Os melhores índices estatísticos que evidenciam a eficiência do processo de calibração, expresso pelo  $R^2$  do RMSE estimados para os parâmetros peso do caule (seco), peso aéreo (seco) e peso dos grãos (seco), com índices  $R^2$  e D superiores a 0,8, para a cultivar Bônus. Os mesmos índices, além do IAF, foram superiores a 0,86 para a cultivar BRS 8980.

Os rendimentos finais de colheita apresentaram valores aproximados e consideráveis na primeira época de semeadura, para as duas cultivares analisadas. Contudo observou-se uma redução elevada da produtividade para os cultivos em segunda época, com evidentes justificativas pelo excesso de chuva, redução da luminosidade e ataques de pragas e doenças, especialmente para a cultivar de maior ciclo (BRS 8980).

Por se tratar de modelo e de complexa interação e calibração dos inúmeros parâmetros de interação entre as variáveis ambientais que determinam o rendimento final das culturas, a continuidade das pesquisas se fazem necessário para estes e as demais cultivares indicados para plantio nesta região.

O modelo calibrado pode ser aplicado para estimar o rendimento da soja, cultivares BRS 8980 e Bônus IPRO, em qualquer localidade do estado do Tocantins, desde que conhecidas as características do solo e do clima.

## Referências Bibliográficas

- ANOTHAI, J.; PATANOTHAI, A.; JOGLOY, S.; PANNANGPETCH, K.; BOOTE, K. J.; HOOGENBOOM, G. A sequential approach for determining the cultivar coefficients of peanut lines using end-of-season data of crop performance trials. **Field Crops Research**, v. 108, p. 169-178, 2008.
- CASTRO, J. R.; CUADRA, S. V.; PINTO, L. B.; SOUZA, J. M. H.; SANTOS, M. P.; HEINEMANN, A. B. Parametrization of models and use of estimated global solar radiation data in the irrigated rice yield simulation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 238-246, 2018.
- CHEN, K. I. et al. Soyfoods and soybean products: From traditional use to modern applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 96, n. 1, p. 9–22, 2012.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de grãos, acompanhamento da safra de grãos 2016/17**, Brasília, n. 10. p. 170, 2017.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de grãos, acompanhamento da safra de grãos 2017/2018**, Brasília, n. 4. p. 126, 2018.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de grãos, acompanhamento da safra brasileira de grãos 2018/19**, Brasília, v. 6, n. 9, p. 14 - 42, jun. 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/NOT/Downloads/GrosZjunhoZ-ZresumoZ2019\_1.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2019.
- DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; FARIA, R. T.; CONÇALVES, A. C. C.; REZENDE, R.; BERTONHA, A. Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 583-589. 2006.
- EVANGELISTA, B. A. **Projeção de cenários atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambiente de cerrado**. 2011. 188 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2011.
- FRAGOSO, D. de B. CARDOSO, E. A. **Expansão da agricultura no Estado do Tocantins**. In: COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. da. Agricultura e mudanças climáticas no Estado do Tocantins. Palmas: Provisão. cap. 1, p 5-21, 2019 (no prelo).
- JONES, J.W.; HOOGNBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKNS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3-4, p. 235-265, 2003.
- KÖPPEN, W. Das geographische system der klimare. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.). **Handbuch der klimatologie**. Berlin: Gebruder Borntraeger, p.1–44, 1936.

LEE, C., CHOI, M. S., KIM, H.T.; YUN, H.T.; LEE, B.; CHUNG, Y.S.; KIM, R. W.; CHOI, H. Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]: Importance as a crop and pedigree reconstruction of Korean varieties. **Plant Breeding and Biotechnology**, v. 3, p. 179-196. 2015.

LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**. v.7, p. 51–73, 1991.

MAJOR, D. J.; JOHNSON, D. R.; TANNER, J. W.; ANDERSON, I. C. Effects of daylength and temperature on soybean development. **Crop Science**, Madison, v. 15, p. 174-179, 1975.

NASSIF, D. S. P.; MARIN, F. R.; FILHO, W. J. P.; RESENDE, R. S.; PELEGRINO, G. P. Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/Canegro para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.47, n.3, p.311-318, mar. 2012.

OLIVEIRA, Elisângela Aparecida de. **Métodos para análise de concordância**: estudo de simulação e aplicação a dados de evapotranspiração. 2016. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônômica) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

RITCHIE, J. T.; PORTER, C. H.; JUDGE J.; JONES, J. W.; SULEIMAN, A. A. Extension of an existing model for soil water evaporation and redistribution under high water content conditions. **Soil & Water Management & Conservation**, v. 73, n. 3, p. 792-801. 2009.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. D. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, mar. 2001.

SALMERÓN, M.; PURCELL, L. C. Simplifying the prediction of phenology with the DSSAT-Cropgro-soybean model based on relative maturity group and determinacy. **Agricultural Systems**, v. 148, p. 178-187. 2016.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SILVA, E. H. F. M.; PEREIRA, R. A. A.; GONÇALVES, A. O.; BORDIGNON, A. J. Z.; MARIN, F. R. Simulação de produtividade futura de soja em Piracicaba-SP com base em projeções de mudanças climáticas. **Agrometeoros**, v.25, n.1, p.9-17. 2017.

SILVA, D. F.; ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; CASTRO, L. A.; ALVES, M. E. B.; RODRIGUES, C. C. F.; FONSECA, D. A. B.; TEIXEIRA, T. C.; PAIXÃO, J. S. Calibração e avaliação do modelo CSM-CERES-Maize para simulação do manejo da fertilização mineral e com dejetos de suínos em milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. Diversidade e inovação na era dos transgênicos: resumos expandidos. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônômico; Sete Lagoas: ABMS, 2012. p. 3215-3221. 1 CD-ROM.

TALACUECE, M. A. D. **Modelagem da relação clima produtividade da soja em Moçambique**: perspectivas atuais e futuras. 2014. 58 f. Dissertação (Mestrado em

Meteorologia Agrícola), Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 2014.

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Soc.**, v. 63, n.11, p.1309-1313, 1982.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação ao artigo 1, tem-se as seguintes conclusões:

A cultivar precoce (Bônus) apresentou maior estabilidade em desenvolvimento e rendimento nas épocas avaliadas, indicando também maior resiliência aos fatores e elementos adversos do ambiente, tais como altitude, temperatura, chuva, água no solo e energia solar.

As épocas de semeadura impactaram sensivelmente no rendimento da cultivar tardia (BRS 8980 IPRO). Para esta cultivar é recomendado a semeadura no início do período chuvoso da região (em novembro) onde pode-se obter maiores médias de produtividade.

Pode-se afirmar que a escolha das épocas de semeadura tem papel fundamental no desenvolvimento e na estimativa do rendimento da lavoura de soja, bem como seu comportamento frente às condições climáticas na região tocantinense, mostrando-se importante na redução de perdas nas lavouras.

Dada à necessidade do conhecimento do comportamento e estabilidade produtiva das cultivares de soja recomendadas para o estado do Tocantins, especialmente em função da variabilidade e instabilidade climática da região, como altas temperaturas e elevadas taxas de evapotranspiração, além do predomínio de solos frágeis, este estudo contribuiu para o avanço do conhecimento, sendo que a sua continuidade se faz necessária.

No que se refere ao artigo 2, destaca-se que foi realizada com eficiência a calibração e a validação do modelo Cropgro-soybean (DSSAT v 47) para estimar o desenvolvimento e rendimento de duas cultivares comerciais de soja cultivadas em duas épocas de semeadura em propriedade representativa do bioma Cerrado do estado do Tocantins.

Os melhores índices estatísticos que evidenciam a eficiência do processo de calibração, expresso pelo  $R^2$  do RMSE estimados para os parâmetros peso do caule (seco), peso aéreo (seco) e peso dos grãos (seco), com índices  $R^2$  e D superiores a 0,8, para a cultivar Bônus. Os mesmos índices, além do IAF, foram superiores a 0,86 para a cultivar BRS 8980.

Os rendimentos finais de colheita apresentaram valores aproximados e compatíveis na primeira época de semeadura, para as duas cultivares analisadas. Contudo, observou-se uma redução elevada da produtividade para os cultivos em segunda época, podendo ser justificadas justificativas pelo excesso de chuva, redução da luminosidade e ataques de pragas e doenças, especialmente para a cultivar de maior ciclo (BRS 8980).

Por se tratar de modelo e de complexa interação e inúmeros parâmetros de interação entre as variáveis ambientais que determinam o rendimento final das culturas, a continuidade

das pesquisas se fazem necessário para estes e as demais cultivares indicados para plantio nesta região.

Este estudo auxiliou na promoção do uso de ferramentas de apoio ao desenvolvimento da cadeia produtiva da soja no Estado, bem como, proporcionou uma contribuição no desenvolvimento de pesquisas sobre modelagem de culturas.

A aplicação desta ferramenta de planejamento poderá estimular o setor agrícola tocantinense a ocupar áreas já desmatadas, através da identificação das áreas de maior potencial de aproveitamento na agricultura e assim maximizar a produção e minimizar a os impactos ambientais.

Vale destacar que há a necessidade de dar continuidade a estudos nessa área, a fim de construir uma base consistente ao setor agrícola do Estado do Tocantins, realizando estudos com outras cultivares de soja, como também com outras culturas de importância econômica.