

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DO MODELO CSM - CROPGRO - PEANUT  
PARA A CULTURA DO AMENDOIM SOB IRRIGAÇÃO**

**Ancelmo Cazuza Neto  
Engenheiro Agrônomo**

**2022**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DO MODELO CSM - CROPGRO - PEANUT  
PARA A CULTURA DO AMENDOIM SOB IRRIGAÇÃO**

**Ancelmo Cazuza Neto**

**Orientador: Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).**

**2022**

C386a      Cazuza Neto, Ancelmo  
Avaliação do modelo CSM - CROPGRO - PEANUT  
para a cultura do amendoim sob irrigação / Ancelmo  
Cazuza Neto. -- Jaboticabal, 2023  
88 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista  
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,  
Jaboticabal  
Orientador: Rogério Teixeira de Faria

1. *Arachis hypogaea* L.. 2. Análise sazonal. 3.  
Coeficientes genéticos. 4. DSSAT. 5. Simulação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca  
da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados  
fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**


**TÍTULO DA TESE: AVALIAÇÃO DO MODELO CSM - CROPGRO - PEANUT PARA A CULTURA DO AMENDOIM SOB IRRIGAÇÃO**

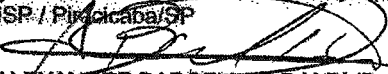
**AUTOR: ANCELMO CAZUZA NETO**

**ORIENTADOR: ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. **ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA** (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal

  
Prof. Dr. **FERNANDO CAMPOS MENDONÇA** (Participação Virtual)  
ESALQ/USP / Jaboticabal/SP

  
Prof. Dr. **ALEXANDRE BARCELLOS DALRI** (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal

  
Prof. Dr. **EDUARDO PINHEIRO DE FREITAS** (Participação Virtual)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) / Barretos/SP

  
Prof. Dr. **ANTÔNIO CARLOS BARRETO** (Participação Virtual)  
Departamento de Irrigação e Drenagem - IFTM / Uberaba/MG

Jaboticabal, 30 de novembro de 2022

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

**Ancelmo Cazuzza Neto**, nascido em Pindobaçu – BA, Brasil, em 1 de fevereiro de 1993, filho de José Francisco Simões e Jizélia Cazuzza Simões. Possui curso técnico em agropecuária pelo IF-Baiano campus Senhor do Bonfim (2008 - 2010); Graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB (2011 – 2016 ) durante a graduação fez parte do Núcleo de Engenharia de Água e Solo – NEAS (2012 – 2016), foi bolsista do Programa de Educação Tutorial – PET Agronomia (2013 – 2014), realizou intercambio na AgroSup Dijon – França na qual cursou especialização em Ciência e Tecnologias dos Agroequipamentos e Agricultura de Precisão (2014 – 2015), possui mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB (2017 – 2019), no qual foi integrante do Laboratório de Instrumentação e Tecnologia Embarcada para Agricultura. Ingressou no curso de doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista – UNESP campus Jaboticabal, no qual fez parte do Grupo de Pesquisas em Irrigação e Meio Ambiente (GPIMA) (2019 – 2022). Gestor e fundador da AgroSup Soluções inteligentes para o Agro Ltda., atuando no planejamento, dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação e fertirrigação em fruticultura tropical, bem como sua proteção com tecnologia de aplicação com drones agrícolas (2022).

**“A essência do conhecimento científico é sua aplicação prática”**  
**Confúcio, 551 – 479 a.C.**

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais, Jizélia Cazuzza Simões e José Francisco Simões; a Neuza Helena Carvalho e ao nosso filho Arthur Miguel Carvalho Cazuzza.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em minha vida e tornar meus sonhos possíveis.

Aos meus pais, Jizélia e José Francisco, pelo apoio incondicional, por todo amor, carinho e atenção dedicados a mim ao longo dessa jornada e em toda a minha vida. Amo vocês!

A minha nova família constituída durante a trajetória do doutorado: Neuza Helena e Arthur Miguel, pelo apoio incondicional durante a trajetória final desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria, pela orientação, confiança, paciência, dedicação e ensinamentos que me proporcionaram crescer profissionalmente, e não me deixar desistir.

À UNESP, Campus de Jaboticabal-SP, por fornecer toda a infraestrutura para o desenvolvimento desse trabalho. A todos os funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), especialmente aos funcionários Marcelo Scatolin (*in memorian*) e João Trentin, do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao Danilo Passos, pela amizade, indicação do programa de pós-graduação e estadia em Jaboticabal.

Aos meus amigos da República Toca Fogo: Armando Brito, Jarlyson, Samira, Mailson, João, Franciele Morlin, Jean e Marcelo, pela troca de experiências e momentos de distração que tornaram este percurso mais leve.

A todos que fazem parte do grupo de pesquisa GEPIMA, que durante este tempo foi uma família, contribuindo para minha formação pessoal e profissional.

A todas as amigas que conquistei durante este período de Unesp, e que todos se sintam representados por Anderson Prates, Antônio Michael, Lucas Farias, Jonathan, Juca, Marcilene, Thayane e outros que colaboraram no desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigado

## SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT .....	iv
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....	1
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Irrigação na cultura do amendoim .....	3
2.2 Modelagem Agronômica no sistema DSSAT .....	5
2.3 O modelo CSM – CROPGRO – PEANUT.....	8
3. REFERÊNCIAS .....	11
CAPÍTULO 2 – Calibração e teste do modelo CSM – CROPGRO – PEANUT para manejo de irrigação na cultura do amendoim.....	15
1. INTRODUÇÃO .....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.1 Experimentos de campo .....	19
2.2 O modelo CSM – CROPGRO – Peanut.....	23
2.3 Calibração do modelo CSM – CROPGRO - Peanut .....	26
2.4 Teste do modelo CSM- CROPGRO-Peanut .....	27
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
3.1 Calibração do modelo CSM- CROPGRO-Peanut.....	28
3.2 Teste do modelo CSM- CROPGRO-Peanut Model .....	37
4. CONCLUSÕES .....	48
5. REFERÊNCIAS.....	49
CAPÍTULO 3 - Risco de decréscimo de produtividade devido ao estresse hídrico e retorno financeiro do cultivo de amendoim no Sudeste do Brasil.....	53
RESUMO .....	53

ABSTRACT.....	53
1. INTRODUÇÃO.....	54
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	56
2.1 O modelo CSM- CROPGRO-Peanut.....	56
2.2 Parametrização do modelo CSM- CROPGRO-Peanut.....	57
2.2.1 Cultivar.....	57
2.2.2 Clima e solo.....	59
2.2.3 Produtividades simuladas.....	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
3.1 Simulações sob cenário sem irrigação.....	64
3.2 Simulações sob cenário irrigado.....	66
3.3 Renda líquida sem irrigação.....	69
3.4 Renda líquida sob manejos da irrigação.....	70
3.5 Rentabilidade do uso da irrigação no cultivo do amendoim.....	73
5. REFERÊNCIAS.....	75
CONSIDERAÇÃO FINAIS.....	78
APÊNDICE.....	80

## AVALIAÇÃO DO MODELO CSM - CROPGRO - PEANUT PARA A CULTURA DO AMENDOIM SOB IRRIGAÇÃO

**RESUMO** – A cultura do amendoim é sensível aos estresses ambientais, principalmente à deficiência hídrica durante as fases críticas de crescimento. Os modelos de simulação podem ser aplicados para determinar o risco de decréscimo de produção em função de estresse hídrico, a resposta à irrigação e a viabilidade econômica das estratégias de manejo preconizadas. Objetivou-se, com este trabalho, calibrar os coeficientes genéticos do modelo CSM – CROPGRO – Peanut para duas cultivares (IAC 503 e IAC 505) representativas do sistema de produção brasileiro, e testá-lo com dados independentes, visando à sua aplicação em simulações de longo período (2006 a 2020) na definição de estratégias de manejo de irrigação em Jaboticabal-SP. A calibração e o teste do modelo foram realizados com dados experimentais obtidos durante três anos (2018 a 2020) de tratamentos de irrigação plena e deficitária. O modelo calibrado apresentou desempenho muito bom para simular as datas de ocorrência dos estádios fenológicos da cultura e o crescimento dos cultivos experimentais, evidenciado pelos elevados índices de correlação e acurácia entre os dados simulados e observados de massa de vagens na maturação ( $R^2 = 0,95$  a  $0,97$ ,  $RMSE = 232$  a  $909$   $kg\ ha^{-1}$  e  $dW = 0,96$  a  $97$ ) e biomassa ( $R^2 = 0,98$  a  $0,99$ ,  $RMSE = 415$  a  $1117$   $kg\ ha^{-1}$  e  $dW = 0,85$  a  $0,98$ ). Nas simulações de longo período, o cultivo não irrigado com semeaduras em novembro e dezembro apresentam as maiores produtividades ( $5.350$   $kg\ ha^{-1}$  e  $5.067$   $kg\ ha^{-1}$ ) e rendas líquidas (R\$ 2.649,00 a R\$ 3.866,00  $ha^{-1}$ ). Com a antecipação ou atraso da semeadura, a produtividade e a renda líquida decrescem, tornando-se negativas nas semeaduras de setembro e de fevereiro a abril. No cultivo irrigado não houve incremento de produtividade na maioria das épocas de semeadura na primeira safra e, conseqüentemente, a renda líquida foi menor devido aos custos da irrigação, porém, reduziu-se a variabilidade da produtividade ao longo dos anos da simulação. Na segunda safra, a semeadura em janeiro apresentou as maiores produtividades ( $4.331$   $kg\ ha^{-1}$ ) e renda líquida (R\$ 555 a R\$ 3.480,00  $ha^{-1}$ ), valores que decresceram nas épocas subsequentes, com baixa produtividade e renda líquida negativa devido à deficiência hídrica elevada e temperaturas subtóxicas. Concluiu-se que o modelo CSM – CROPGRO – Peanut tem capacidade de simular, com precisão, o desenvolvimento e o crescimento das cultivares IAC 503 e IAC 505 sob condições de irrigação plena e deficitária. O modelo CSM – CROPGRO – Peanut também foi apropriado para indicar que as semeaduras de outubro a dezembro, na primeira safra, e em janeiro, na segunda safra, proporcionam maior média e menor variância de produtividade e renda líquida sob condições de sequeiro e irrigado.

**Palavras-chave:** *Arachis hypogaea* L., Análise sazonal, Coeficientes genéticos, DSSAT, Simulação

## EVALUATION OF THE CSM - CROPGRO - PEANUT MODEL FOR PEANUT CULTURE UNDER IRRIGATION

**ABSTRACT** – The peanut crop is sensitive to environmental stresses, mainly to water deficit during the sensitive phases of growth. Simulation models can be applied to determine the risk of productivity decreased due to water stress, response to irrigation and economic feasibility of management strategies. This work aimed to calibrate the genetic coefficients of the CSM - CROPGRO - Peanut model for two representative cultivars (IAC 503 e IAC 505) of the Brazilian production system, and to test it with independent data, aiming at its application to assess irrigation management strategies for Sao Paulo State, Brazil. Model calibration and testing were performed with experimental data obtained over three years (2018 to 2020) of full and deficit irrigation treatments. In the calibration and test phase, the model performed very well to simulate phenology and crop growth, as given by the high correlation and accuracy indexes between simulated and observed data of pod mass at maturation ( $R^2 = 0.95$  to  $0.97$ ,  $RMSE = 232$  to  $909$   $kg\ ha^{-1}$ , and  $dW = 0.96$  to  $0.97$ ) and biomass ( $R^2 = 0.98$  to  $0.99$ ,  $RMSE = 415$  to  $1117$   $kg\ ha^{-1}$  and  $dW = 0.85$  to  $0.98$ ). In long-term simulations, non-irrigated crops with sowing in November and December attain higher productivities ( $5,350$  to  $5,067$   $kg\ ha^{-1}$ ) and net income (R\$  $2,649.00$  to R\$  $3,866.00\ ha^{-1}$ ). Anticipating or delaying sowing, productivity and net income decrease to become negative for crop sowing in September and from February to April. Under irrigation, there was no productivity increase in most of the sowing from September to December, thus net income decreased due to irrigation costs, despite lower productivity variability over the years. In the second crop, sowing in January gives higher productivities ( $4,331$   $kg\ ha^{-1}$ ) and net income (R\$  $555$  to R\$  $3,480.00\ ha^{-1}$ ), which decrease in subsequent growing seasons, with net income becoming negative due to high irrigation application and sub-optimal temperatures. It was concluded that the CSM – CROPGRO – Peanut model can accurately simulate development and growth of cultivars IAC 503 and IAC 505 under full and deficit irrigation. The CSM – CROPGRO – Peanut model was also appropriate to indicate that sowings from October to December, in the first crop, and in January, in the second crop, provide higher productivity and net income and low productivity and net income variability under rainfed and irrigated conditions.

**Keywords** – *Arachis hypogaea* L., Seasonal analysis, Genetic coefficients, DSSAT, Simulation

## **CAPÍTULO 1 - Considerações gerais**

### **1. INTRODUÇÃO**

A cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) tem relevância econômica e social, pois gera receita para as regiões produtoras, processadoras, distribuidoras e exportadoras, além de possibilitar a criação de empregos diretos e indiretos em todos os elos da sua cadeia produtiva. A China é o maior produtor e consumidor do mundo, representando cerca de 38% da produção global, estimada em 46,1 milhões de toneladas em 2020 (Conab, 2021). O Brasil é o 11<sup>o</sup> produtor com produção estimada em 747 mil toneladas e 6<sup>o</sup> maior exportador de amendoim, sendo o estado de São Paulo responsável pela produção de 95% do amendoim nacional. No período de 2010 – 2019 a produção de amendoim cresceu 9% ao ano, provocado pelo aumento da produtividade na ordem de 3% ao ano e pelo aumento médio de 7% ao ano da área plantada, segundo dados do IEA (2019), gerando receita superior a 1 bilhão de reais. Esse crescimento está relacionado à inclusão de novas cultivares de porte rasteiro com alto teor de óleo, mudanças nos sistemas de produção e, principalmente, pela inserção em áreas de reforma de canaviais. Em 2019, praticamente toda a produção de amendoim no Brasil veio de áreas em reforma de canaviais (Carrega et al., 2022).

Na região de Jaboticabal, a principal região produtora do estado de São Paulo, o amendoim é cultivado preferencialmente na estação chuvosa, denominada de primeira safra ou das águas, que se estende de outubro a dezembro. A segunda safra, ou safrinha de amendoim, com semeadura de janeiro a março, é uma alternativa para produtores que se dedicam a outras atividades que não a canaveira. No entanto, na safrinha há frequentes frustrações de safras em decorrência da baixa precipitação pluvial durante o outono. Este fato pode ser comprovado ao avaliar a produtividade brasileira de amendoim de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> safras em 2021/2022, que foi de 3.700 kg ha<sup>-1</sup> e 1.600 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Conab, 2022).

Em regiões sob disponibilidade limitada de água, a utilização de irrigação é crucial para mitigar os impactos da deficiência hídrica e incrementar a produtividade de amendoim, conforme demonstram vários estudos relatados na literatura (Aydinsakir et al., 2016; Barbieri et al, 2017; Natarajan et al., 2020; Sousa et al., 2014; Thangthong et al., 2018). No entanto, a maioria destes resultados não é conclusiva

sobre a viabilidade da aplicação da irrigação, pelo fato de os experimentos de campo terem sido, em geral, realizados em curtos períodos, sujeitos à influência de condições climáticas de anos específicos.

Os modelos matemáticos mecanicistas de simulação do crescimento de culturas possibilitam a predição do crescimento, desenvolvimento e produtividade de determinada cultivar sob condições edafoclimáticas e de manejos específicos (Hoogenboom et al., 2019). Dentre os vários modelos de crescimento de culturas disponíveis na literatura, destaca-se o modelo CSM-CROPGRO, incluso no sistema computacional DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), que é capaz de simular o crescimento, o desenvolvimento e o balanço hídrico de diversas culturas, em função das características de solo, da planta (coeficientes genéticos) e da atmosfera (Boote, 2020).

Para a cultura do amendoim, o sistema DSSAT disponibiliza o modelo CSM-CROPGRO – Peanut (Boote et al., 1992), que após ser calibrado e testado, possibilita realizar simulações de longo período utilizando dados meteorológicos históricos de uma determinada região para avaliar a eficiência de práticas de manejo, dentre as quais a irrigação, sob efeito da variabilidade interanual dos elementos climáticos e datas de semeadura em função do regime hídrico da região.

Tradicionalmente, a determinação de épocas de semeadura é realizada pela condução de experimentos nas regiões de interesse e nas datas escalonadas ao longo do ano agrícola. No entanto, esses experimentos demandam muito tempo e são afetados pela variabilidade climática interanual, que interfere nos resultados. Neste contexto, modelos de simulação de crescimento de cultivos, previamente calibrados e validados para o cultivo de interesse, são adequados para a determinação de períodos de semeadura que otimizem o uso de recursos naturais e insumos (Ahmad et al., 2016; Andarzian et al., 2015).

Portanto, o modelo CSM-CROPGRO – Peanut apresenta-se como uma ferramenta promissora para o planejamento e definição de estratégias de manejo da cultura com limitação de recursos hídricos no período de entressafra, possibilitando a redução do risco associado ao cultivo neste período, visando à obtenção de renda líquida positiva.

Com base no exposto, este trabalho teve o objetivo de calibrar os coeficientes genéticos do modelo CSM – CROPGRO – Peanut para duas cultivares representativas do sistema de produção brasileiro, e testá-lo com dados independentes, visando sua aplicação na definição de estratégias de manejo de irrigação em Jaboticabal - SP.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Irrigação na cultura do amendoim**

O cultivo mundial do amendoineiro ocorre sob condições de sequeiro em 80% das áreas, sendo sujeito à ocorrência de déficit hídrico em algum dos seus estádios fenológicos (Wright e Nageswara Rao, 1994). Apesar da planta apresentar tolerância ao estresse hídrico, reduções da produtividade da cultura têm sido constatada nas diversas regiões de cultivo (França et al., 2020; Abou Kheira, 2009), com reduções de 25 a 30% da produtividade, o que pode inviabilizar o seu cultivo (Carrega, 2017). Portanto, o estresse hídrico é considerado um dos fatores que mais impacta negativamente o crescimento e a produtividade da cultura do amendoim (Pereira et al., 2015).

Segundo Azevedo et al. (2014), a sensibilidade do amendoineiro ao déficit hídrico na fase vegetativa (semeadura à floração) é relativamente baixa em comparação com a fase reprodutiva (floração ao final de enchimento de vagens). Nesta fase, o déficit hídrico pode causar abortamento de flores, reduzir o pegamento de vagens e diminuir a massa unitária de sementes, comprometendo a produtividade (Aninbon et al., 2019, Nakagawa e Rosolem, 2011).

Para que a planta de amendoim expresse seu potencial genético, há necessidade de 500 a 700 mm de água bem distribuída ao longo do seu ciclo de cultivo (Doorenbos e Kassam, 1979). Em ambientes onde não ocorrem precipitações bem distribuídas e em quantidade adequada para suprir a demanda hídrica da cultura, a irrigação é necessária para mitigar o impacto da deficiência hídrica na produtividade do cultivo (Aydinsakir et al., 2016; Barbieri et al., 2017; Natarajan et al., 2020).

Devido às mudanças climáticas a água está se tornando escassa não apenas em regiões áridas e semiáridas, mas também em regiões historicamente com predominância de chuvas abundantes. A agricultura irrigada é o setor econômico que mais consome água e que compete com os demais setores pelo recurso hídrico (FAO, 2013), principalmente durante os períodos de estiagens prolongadas, que são frequentes na região Sudeste do Brasil. Atualmente, a irrigação é responsável por cerca de 50% da captação de água bruta em mananciais superficiais e subterrâneos no Brasil (em comparação, o abastecimento urbano responde por 24% da retirada total). Essa participação da irrigação é semelhante à observada na média global (ANA, 2021).

Em condições de limitação hídrica, os agricultores são demandados a mudar de cultivo, reduzir a área cultivada ou o aporte de água para os cultivos, o que resulta em decréscimos de produção ou de produtividade das culturas (Moore et al., 1994). Nessas condições, a irrigação deve ser aplicada segundo as normas de manejo de irrigação deficitária.

Segundo Capra et al. (2008), a irrigação deficitária é uma estratégia de otimização na qual a renda líquida é maximizada pela redução da lâmina d'água aplicada, apesar de haver determinado grau de redução de produtividade da cultura. Sob o manejo de irrigação deficitária, os custos de produção também são reduzidos pelo menor consumo energético de bombeamento de água e pelo menor investimento na aquisição de sistema de irrigação de menor capacidade.

A maioria dos estudos demonstra que a supressão da irrigação durante o ciclo, ou parte do ciclo, reduz a produtividade das culturas, o que resultou em poucos progressos na adoção do manejo em irrigação deficitária. Capra et al. (2008) concluíram que os efeitos positivos da técnica são evidenciados quando os aspectos econômicos são considerados na análise e em aplicações sobre o planejamento para grandes áreas irrigadas.

Pesquisas sobre estratégias de irrigação deficitária ao longo do ciclo da cultura ou em estádios fenológicos específicos demonstram grande variabilidade do consumo hídrico da cultura em função da cultivar, região e época de cultivo. Assim, para cultivos de amendoim nas condições do semiárido brasileiro, Silva (1997) relataram a

necessidade de lâmina de 700 mm para atingir bons níveis de produtividade; França et al. (2021) observaram maiores produtividades em cultivos que receberam lâminas (chuva + irrigação) de 470 mm na semeadura de fevereiro e 360 mm na semeadura de março, nas condições do Nordeste do estado de São Paulo. Ketring (1991) reportou a necessidade mínima de 500 mm de água para produzir sementes de amendoim com alto potencial de germinação e vigor, nas condições climáticas de Perkins, Oklahoma, EUA. Abou Kheira (2009) observou que o consumo hídrico nas condições do Delta do Nilo no Egito variou de 567 a 640 mm no ciclo da cultura. Visto que esses resultados são oriundos de experimentos pontuais, conduzidos durante número limitado de anos e em locais específicos, há grande dificuldade e custo para a definição de estratégias de irrigação eficientes para assegurar a produção sustentável de amendoim, mantendo-se a produtividade elevada com deficiência hídrica (Zhang et al., 2021; Ding et al., 2021).

Os modelos computacionais de crescimentos de culturas podem ser utilizados para quantificar as necessidades hídricas dos cultivos, prever o impacto do estresse hídrico na produtividade, calcular a produtividade da água e correlacionar a disponibilidade hídrica e o rendimento da cultura em trabalhos de análise econômica de estratégias de irrigação, considerando a variabilidade do sistema solo-planta-atmosfera. Em simulações de longo período, além da média ao longo dos anos, determina-se a variabilidade interanual das variáveis-resposta, que pode ser representada em forma de funções de probabilidade para indicar aos tomadores de decisão as melhores estratégias de manejo.

## **2.2 Modelagem Agronômica no sistema DSSAT**

A modelagem agronômica auxilia na identificação da interação genótipo - ambiente, constituindo uma ferramenta com alto potencial para entender os processos físicos, químicos e biológicos dessa interação. Esse conhecimento codificado na forma de modelos computacionais de simulação do crescimento de culturas permite estimar o desempenho da cultura em diferentes situações de cultivo (Soler et al., 2013), e elaborar estratégias para reduzir riscos de produção e melhorar o uso de insumos como fertilizantes e água para irrigação (Hoogenboon et al., 2019).

Os modelos matemáticos estimam o crescimento, desenvolvimento e produtividade de culturas, baseados em características genéticas, condições edafoclimáticas e manejo da cultura (Monteith et al., 1996). A maior disponibilidade de dados monitorados em campo amplifica o horizonte de aplicabilidade e uso de modelos. Dados climáticos históricos possibilitam realizar previsões de mudanças climáticas a curto e longo prazo. Essas informações, associadas às condições climáticas durante o crescimento da planta, desempenham papel importante na aplicação de sistemas de apoio à decisão (Hoogenboon et al., 2015).

Para que os modelos de crescimento de cultivos ofereçam maior credibilidade na aplicação e tomada de decisões, há necessidade de dados meteorológicos, de solo e de cultivo obtidos com boa acurácia. Nesses modelos, geralmente o cultivo é modelado por índices denominados de coeficientes genéticos, que carecem de calibração para representar as diferentes cultivares. A calibração consiste no ajuste desses coeficientes por meio da comparação entre simulações e dados observados em campo de culturas conduzidas sob manejo ótimo, sem estresse de solo e de patógenos, sofrendo influência somente das condições climáticas do ambiente de cultivo. Após a comprovação da capacidade do modelo em simular a realidade do crescimento e desenvolvimento do cultivo de interesse, o modelo pode ser utilizado para simular diversas situações a fim de determinar as melhores práticas para determinado sistema de produção (Jones et al., 2003).

Na literatura existe uma vasta gama de modelos de simulação, cada um com seu propósito e mérito. Antes de ser utilizado, uma análise crítica deve ser realizada para escolha do modelo apropriado ao caso em estudo. Por exemplo, um modelo pode ser muito bom para a realização de análise sazonais com uma limitada calibração, enquanto outros podem gerar informações diárias ou horárias que podem ter relevância em estudos detalhados, na condição de bons dados para calibração (Vanuytrecht et al., 2014). No entanto, alguns modelos são específicos para cada situação local, temporal ou de manejo, necessitando de recalibração para cada ambiente de cultivo, o que dificulta sua operacionalidade.

Com o intuito de integrar conhecimentos sobre o sistema solo – planta – atmosfera para a definição de manejos e auxiliar na tomada de decisão foi

desenvolvido o DSSAT - Decision Support System for Agrotechnology Transfer, que possui uma abrangência sistêmica e pode replicar resultados alcançados em pesquisas pontuais em locais com solo e clima diferentes, desde que seus modelos sejam previamente calibrados (Jones et al., 2003).

O DSSAT é uma coleção de programas independentes que operam em conjunto, conforme ilustrado na Figura 1. Os modelos de simulação de culturas estão no centro (CROPGRO). Os bancos de dados descrevem o clima, o solo, as condições e medições dos experimentos e informações de genótipo para aplicar os modelos a diferentes situações. O software ajuda os usuários a preparar esses bancos de dados e comparar os resultados simulados com as observações, para dar-lhes confiança nos modelos ou para determinar se são necessárias modificações visando melhorar sua precisão (Jones et al., 2017). Além disso, os programas contidos no DSSAT permitem que os usuários simulem opções de manejo de culturas ao longo de vários anos para avaliar os riscos associados a cada opção.

A abordagem de sistemas fornece uma estrutura na qual a pesquisa é conduzida para entender como o sistema e seus componentes funcionam. Esse entendimento é então integrado a modelos que permitem prever o comportamento do sistema como um todo (solo, planta e atmosfera) para determinadas condições. O DSSAT foi desenvolvido para operacionalizar essa abordagem e disponibilizá-la para aplicações globais (Jones et al., 2003).

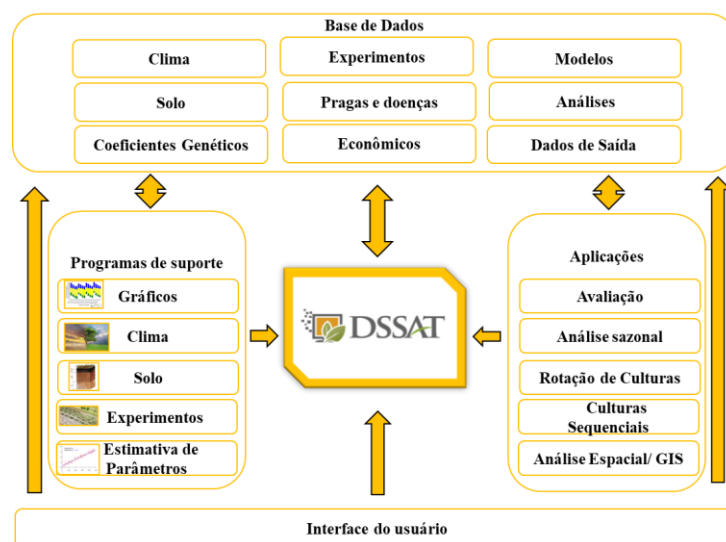


Figura 1. Visão geral dos componentes e estrutura modular do DSSAT

### 2.3 O modelo CSM – CROPGRO – PEANUT

Com o modelo de simulação CSM – CROPGRO incluso no sistema DSSAT existe um único código de programação escrito em linguagem Fortran para a simulações nas culturas da soja, feijão e amendoim. No modelo CSM - CROPGRO, existem arquivos de espécies, ecótipo e cultivar. Não há sub-rotinas específicas de cultura no modelo. Em vez disso, todas as diferenças de espécies ou cultivares são representadas modificando os coeficientes de entrada de cada arquivo. O arquivo de espécie descreve a composição dos tecidos da planta, atividade fotossintética e respiratória, assimilação do nitrogênio e sua partição, processos fenológicos e de crescimento, bem como a sensibilidade desses processos a fatores ambientais (Boote et al., 1998). As cultivares são descritas no arquivo de cultivar com 15 parâmetros que descrevem o crescimento e desenvolvimento da planta. O arquivo de ecótipo contém os atributos genéticos que descrevem cultivares com crescimento determinado e indeterminado, e mudam menos frequentemente. O desenvolvimento de culturas no CROPGRO usa uma abordagem flexível que permite o desenvolvimento durante várias fases de crescimento em função da temperatura, fotoperíodo, déficit hídrico e estresse por falta ou excesso de nitrogênio. Se as condições de temperatura, fotoperíodo, disponibilidade de água e nitrogênio forem ótimas, um dia fisiológico é acumulado e é igual a dias corridos, permitindo assim que a planta se desenvolva na taxa máxima possível (Boote et al., 1998).

O arquivo de espécie define, para cada cultura, as faixas de temperatura (ótima, máxima e mínima) para o crescimento da planta. Define também fases de desenvolvimento, com o ponto inicial e final de cada fase, e indica se cada fase é sensível ou não à temperatura, fotoperíodo e disponibilidade de água. Os valores limites de acúmulo para as fases (em dias fisiológicos) e os parâmetros críticos do fotoperíodo são fornecidos nos arquivos de cultivares e ecótipos. A altura e a largura do dossel da cultura são obtidas em função da taxa de formação de nós vegetativos (Estágio V) e comprimento do entrenó, que sua vez é dependente da temperatura, irradiância, fotoperíodo, déficit hídrico e estágio V. Os parâmetros no arquivo de espécies para cada cultura descrevem o comprimento potencial do entrenó em relação à posição do nó, bem como os efeitos relativos da temperatura, irradiância, fotoperíodo e déficit hídrico (Boote et al., 1998).

O modelo CSM - CROPGRO - Peanut desenvolvido a partir do modelo CSM - CROPGRO é obtido pela parametrização dos arquivos de espécie, ecótipo e cultivar para a cultura do amendoim. É um modelo mecanicista e determinístico que vem sendo usado em diversas aplicações. Dentre elas, destacam-se a capacidade do modelo para definir estratégias de irrigação visando aumentar a produtividade e a eficiência do uso da água de irrigação, como no trabalho de Sezen et al. (2021), no qual foram avaliadas três frequências de irrigação e quatro níveis de irrigação na cultura do amendoim e concluíram que o modelo seria mais uma ferramenta de agricultura de precisão para a extrapolação da alocação de recurso hídricos de irrigação e gestão de decisões sob o clima atual e futuro.

Amiri et al. (2015) também atestaram a capacidade preditiva do modelo na avaliação do efeito do estresse hídrico na produtividade e seus componentes de produção na cultura do amendoim, constatando que o modelo apresenta regular capacidade de simulação da produtividade e seus componentes de produção, aumentando o erro à medida que a quantidade de água aplicada diminuía.

Outra aplicação muito importante para o sucesso do cultivo do amendoimzeiro é a escolha da janela de semeadura ideal, que deve ser baseada na variabilidade climática da região, com o objetivo de otimizar estratégias de manejos para o aumento da produtividade da cultura. Nos trabalhos desenvolvidos por Woli et al. (2013), os autores constaram o efeito da data de semeadura em função do tipo de solo sob influência da ocorrência do El Niño. Halder et al. (2017) constataram a capacidade preditiva do modelo na escolha da data de semeadura e adubação fosfatada para obtenção de maiores produtividades.

Outra ferramenta útil que integra o sistema DSSAT com uso do modelo CSM – CROPGRO - Peanut é a possibilidade de realizar a análise sazonal de cultivos com diferentes combinações de manejos, condições climáticas e tipos de solo de determinada região. Para a realização das simulações são necessários dados históricos do clima para simulação de longo período. Os resultados gerados podem ser analisados por distribuição de percentil, dominância estocástica e gráficos de média – variância (Boote, 2020).

Embora haja uma ampla gama de aplicações de modelos na literatura, a maioria não avalia a viabilidade econômica da atividade, apesar de esta ser fator preponderante para a tomada de decisão de investimento no meio rural. O modelo CSM – CROPGRO – Peanut possibilita simular probabilidades de produção em longo período em diferentes datas de semeadura, com ou sem irrigação, seus respectivos custos de produção sazonais para irrigar e a quantidade de água requerida pela cultura (Boote, 2020).

O aplicativo 'Análise Sazonal' permite ao usuário explorar os efeitos da variabilidade climática e avaliar a incerteza e os fatores de risco associados a vários manejos e insumos genéticos. O DSSAT integra a interação de clima, solo, manejo e fatores genéticos, permitindo que um usuário simule muitos cenários hipotéticos em curto intervalo de tempo, usando uma série histórica de dados meteorológicos (Rugira et al., 2021).

O aplicativo de análise sazonal funciona em escala de campo e enfatiza a incerteza do tempo. Os riscos econômicos também podem ser estimados usando os custos dos insumos e preços dos produtos, incluindo a variabilidade associada a esses custos e preços. O aplicativo pode ser usado para selecionar a cultura e a variedade ideal, datas de plantio, opções de irrigação, aplicação de fertilizantes e outros insumos agroquímicos, opções de marketing, riscos de seguro, consultoria política e investimentos em equipamentos, tecnologia e diversificação do uso da terra. Normalmente, uma temporada de simulação por cenário por ano meteorológico é realizada. Para cada cenário, são simulados os desempenhos da cultura em uma série de anos meteorológicos, com reinicialização do solo feita no início de cada simulação para que os resultados reflitam à variabilidade climática interanual (Boote, 2020).

Uma interface gráfica permite que o usuário explore distribuições de resultados para variáveis, incluindo rendimentos de colheitas, lucros agrícolas e fatores ambientais, tais como lixiviação de nitrogênio e necessidades de irrigação. A aplicação inclui opções gráficas, como gráficos de caixa, gráficos de função cumulativa, média variância, e gráficos para variáveis biofísicas e econômicas.

### 3. REFERÊNCIAS

- Abou Kheira AA (2009) Macromanagement of deficit-irrigated peanut with sprinkler irrigation. **Agricultural Water Management** 92:1409-1420.
- Ahmad S, Hussain S, et al (2016) Application of DSSAT Model for Sowing Date Management of C 4 Summer Cereals for Fodder and Grain Crops under Irrigated Arid Environment. **Pakistan Journal of Life & Social Sciences** 14(2):104-114.
- Amiri E, Abdzad Gohari A, Mianabadi A (2015) Evaluation of water schemes for peanut, using CSM-CROPGRO-Peanut model. **Archives of Agronomy and Soil Science** 61(10):1439-1453.
- ANA. Agência nacional de água e saneamento básico (2021). **Atlas irrigação: uso da água em agricultura irrigada** 1:130.
- Andarzian B, Hoogenboom G, Bannayan M, Shirali M, Andarzian B (2015) Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. **Journal of the Saudi society of agricultural sciences** 14(2):189-199.
- Aninbon C, Jogloy S, Vorasoot N, Nuchadomrong S, Holbrook CC, Kvien C, Patanothai A (2019) Effect of terminal drought on arginine content in peanut genotypes with difference in levels of drought resistance. **International Journal of Plant Production** 13(2):155-162.
- Aydinsakir K, Dinc N, Buyuktas D, Bastug R, Toker R (2016) Assessment of different irrigation levels on peanut crop yield and quality components under Mediterranean conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** 142(9): 04016034.
- Azevedo BM, De Sousa GG, Paiva TFP, De Mesquita BR, De Araújo Viana TV (2014) Manejo da irrigação na cultura do amendoim. **Magistra** 26(1):11-18.
- Barbieri JD, Dallacort R, Faria CA, De Freitas PS, De Carvalho MA (2017) Peanut cultivars submitted to irrigation levels and nitrogen adubation in tropical climate. **Engenharia Agrícola** 37:1126-1136.
- Boote KJ, Jones JW, Singh P (1992) Modeling growth and yield of groundnut. **International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics** 331-343.
- Boote KJ, Seepaul R, Mulvaney MJ, Hagan AK, Bashyal M, George S, Wright DL (2021) Adapting the CROPGRO model to simulate growth and production of Brassica carinata, a bio-fuel crop. **GCB Bioenergy** 13(7):1134-1148.
- Boote K (2020) (Eds.) Advances in crop modelling for a sustainable agriculture: Flórida: BURLEIGH DODDS SCIENCE PUBLISHING LIMITED, 519p.
- Capra A, Consoli S, Scicolone B (2008). Deficit irrigation: Theory and practice. In.: Alonso D, Iglesias HJ (Eds.) **Agricultural Irrigation Research Progress**. USA: Nova Science Pub., p. 53-82.
- Carrega WC (2017) **Deficiência hídrica em genótipos de amendoim**. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal)) – Unesp. Jaboticabal.

Carrega WC, Nepomuceno MP, Alves PLCA (2022). Perspectivas de herbicidas para a cultura do amendoim. In.: Jammal DG (Eds.) **A cultura do amendoim e seus reflexos econômicos, sociais e técnicos**. Jaboticabal – SP: Funep, 89 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2021) **Safras: Séries históricas. amendoim**. Março/2021. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>> Access on Mar 31th 2022

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2022) **Safras: Séries históricas. amendoim**. Março/2022. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>> Access on Mar 31th 2022

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2018). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2017/2018 décimo primeiro levantamento 2018**. v. 5. Nº11. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 28 de janeiro de 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2020). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2019/2020 décimo primeiro levantamento 2020**. v. 5. Nº11. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 28 de janeiro de 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2021). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2020/2021 décimo primeiro levantamento 2021**. v. 5. Nº11. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 28 de janeiro de 2022.

Ding Z, Ali EF, Elmahdy AM, Ragab KE, Seleiman MF, Kheir AM (2021) Modeling the combined impacts of deficit irrigation, rising temperature and compost application on wheat yield and water productivity. **Agricultural Water Management** 244:106626.

Doorenbos J, Kassam AH (1979) **Yield response to water - FAO irrigation and drainage paper 33**. Roma: FAO, 193p.

FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (2013) Global map of irrigation areas version 5. Roma (Itália). Disponível em <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/>>. Acesso em: outubro de 2022

França PNO, Faria R, Carrega WC, Coelho AP, Godoy IJ, Palaretti LF (2021) Peanut yield under irrigation levels in off-season cultivation. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo** 53(1): 55-67.

Halder D, Panda RK, Srivastava RK, Kheroar S (2017). Evaluation of the CROPGRO-Peanut model in simulating appropriate sowing date and phosphorus fertilizer application rate for peanut in a subtropical region of eastern India. **The Crop Journal** 5(4):317-325.

Hoogenboom G, Porter CH, Boote KJ, Shelton V, Wilkens PW, Singh U, Jones JW (2019) The DSSAT crop modeling ecosystem. In.: Advances in crop modelling for a sustainable agriculture:173-216.

Hoogenboom G et al. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 ([www.DSSAT.net](http://www.DSSAT.net)). DSSAT Foundation, Prosser, Washington, 2015.

IEA. Instituto de economia agrícola. **Estatística da produção paulista**. São Paulo. Disponível em <[http://ciagri.iea.sp.gov.br/nial/subjetiva.aspx?cod\\_sis=1&idioma=1](http://ciagri.iea.sp.gov.br/nial/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1)>. Acesso em outubro de 2022.

Jones JW, Hoogenboom G, Porter CH, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA, Ritchie J T (2003). The DSSAT cropping system model. **European journal of agronomy** 18(3-4): 235-265.

Jones JW, Ritchie JT (1992) Crop growth models. In.: Hoffman GJ, Howell TA, Solomon KH, (Eds.) **Management of Farm Irrigation Systems**. St. Joseph: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, p. 63-89.

Jones JW, Antle JM, Basso B, Boote KJ, Conant RT, Foster I, Wheeler TR (2017) Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. **Agricultural systems** 155:269-288.

Ketring DL (1991) Physiology of oil seeds: IX. Effects of water deficit on peanut seed quality. **Crop Science** 31:459-463.

Monteith JL (1986) How do crops manipulate water supply and demand? **Philosophical Transactions of the Royal Society London** 316:245-259.

Moore MR, Gollehon NR, Carey MB (1994) Multicrop production decisions in western irrigated agriculture: the role of water price. **American Journal of Agricultural Economics** 76(4):859-874.

Nakagawa J, Rosolem CA (2011) **O amendoim: tecnologia de produção**. Bauru: Fepaf, 1.

Natarajan G (2020) Peanut production through innovative water management strategies. **Indian Journal of Science and Technology** 13(17):1764-1777.

Pereira JWL, Albuquerque MB, Melo Filho PA, Nogueira RJMC, De Lima LM, Santos RC (2016) Assessment of drought tolerance of peanut cultivars based on physiological and yield traits in a semiarid environment. **Agricultural Water Management** 166:70-76.

Sezen SM, Ahmad I, Habib-ur-Rahman M, Amiri E, Tekin S, Oz KC, Maambo CM (2022) Growth and productivity assessments of peanut under different irrigation water management practices using CSM-CROPGRO-Peanut model in Eastern Mediterranean of Turkey. **Environmental Science and Pollution Research** 29(18): 26936-26949.

Silva LC (1997) **Respostas ecofisiológicas e desempenho agrônômico do amendoim cv. BR1 submetido a diferentes lâminas e intervalos de irrigação**. 126 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – UFPB, Campina Grande.

Silva RP, Santos AF, Carrega WC (Eds.) (2019) **Avanços na produção de amendoim**. Jaboticabal: Funep, 214p.

- Soler CM, Suleiman A, Anothai J, Flitcroft I, Hoogenboom G (2013) Scheduling irrigation with a dynamic crop growth model and determining the relation between simulated drought stress and yield for peanut. **Irrigation Science** 31(5):889-901.
- Sousa G, Azevedo BM, Lima RH, da Silva JE, de Araújo Viana TV (2014) Growth and yield of peanut with different irrigation levels applied by drip irrigation. **Irriga** 19(2): 186-195.
- Rugira P, Ma J, Zheng L, Wu C, Liu E (2021) Application of DSSAT CERES-maize to identify the optimum irrigation management and sowing dates on improving maize yield in Northern China. **Agronomy** 11(04):674.
- Thangthong N, Jogloy S, Jongrunklang N, Kvien CK, Pensuk V, Kesmala T, Vorasoot N (2018) Root distribution patterns of peanut genotypes with different drought resistance levels under early-season drought stress. **Journal of Agronomy and Crop Science** 204(2):111-122.
- Vanuytrecht E, Raes D, Steduto P, Hsiao TC, Fereres E, Heng LK, Moreno PM (2014) AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. **Environmental Modelling & Software** 62:351-360.
- Woli P, Paz JO, Hoogenboom G, y Garcia AG, Fraisse CW (2013) The ENSO effect on peanut yield as influenced by planting date and soil type. **Agricultural Systems**:121, 1-8.
- Wright GC, Rao RN, Farquhar GD (1994) Water-use efficiency and carbon isotope discrimination in peanut under water deficit conditions. **Crop Science** 34(1):92-97.
- Zhang J, Wang Q, Xia G, Wu Q, Chi D (2021) Continuous regulated deficit irrigation enhances peanut water use efficiency and drought resistance. **Agricultural Water Management** 255:106997.

## **CAPÍTULO 2 – Calibração e teste do modelo CSM – CROPGRO – PEANUT para manejo de irrigação na cultura do amendoim**

**RESUMO** – A cultura do amendoim é sensível às condições climáticas, principalmente à deficiência hídrica durante as fases sensíveis de crescimento. Os modelos de simulação podem ser aplicados para determinar o risco de decréscimo de produção em função de estresse hídrico, bem como a sua resposta à aplicação de irrigação. Objetivou-se, com este trabalho, calibrar os coeficientes genéticos de duas cultivares de amendoim representativas do sistema de produção brasileiro (IAC 503 e IAC 505) para o modelo CSM-CROPGRO-Peanut e testar o seu desempenho para simular o desenvolvimento e produtividade do cultivo, e variáveis hidrológicas sob manejo de irrigação plena e deficitária em Jaboticabal - SP. Foram utilizados dados de quatro experimentos conduzidos durante três anos consecutivos de tratamentos com irrigação plena e deficitária. Na fase de calibração e teste, o modelo apresentou desempenho muito bom para simular as datas de ocorrência dos estádios fenológicos da cultura e o crescimento do cultivo, evidenciado pelos índices elevados de correlação e acurácia entre os dados simulados e observados de massa de vagens na maturação ( $R^2 = 0,95$  a  $0,97$ ,  $RMSE = 232$  a  $909$   $kg\ ha^{-1}$  e  $dW = 0,96$  a  $0,97$ ) e biomassa ( $R^2 = 0,98$  a  $0,99$ ,  $RMSE = 415$  a  $1117$   $kg\ ha^{-1}$  e  $dW = 0,85$  a  $0,98$ ). Concluiu-se que o modelo tem capacidade de simular, com precisão, o desenvolvimento e o crescimento das cultivares IAC 503 e IAC 505 sob condições de irrigação plena e deficitária, sendo apropriado para auxiliar a tomada de decisão sob manejo da irrigação.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Arachis hypogaea* L., Coeficiente genéticos; DSSAT; simulação

## **CHAPTER 2 - Calibration and test of the csm-cropgro-peanut model for full and deficit irrigation management**

**ABSTRACT** – The peanut crop is sensitive to climate conditions, mostly due to water deficit during sensitive stages during the growing season. The simulation models can be applied to determine the impact of water stress on crop productivity, as well as the crop response to the application of irrigation. The objective of this work was to calibrate the genetic coefficients of peanut cultivars representative of the Brazilian production system (IAC 503 and 505) for the CSM-CROPGRO-Peanut and evaluate the model's performance to simulate development and productivity, and hydrologic variables of experiments under full and deficit irrigation, in the northeast of the State of São Paulo, Brazil. In both, calibration and test phases, the model had a very good performance to simulate dates of crop phenological stages and crop growth, as given by the high indices of correlation and accuracy among simulated and observed data on pod mass at maturity ( $R^2 = 0.95$  to  $0.99$ ,  $RMSE = 232$  to  $909$   $kg\ ha^{-1}$  and  $dW = 0.96$  to  $0.97$ ) and biomass ( $R^2 = 0.98$  to  $0.99$ ,  $RMSE = 415$  to  $1117$   $kg\ ha^{-1}$  and  $dW = 0.55$  to  $0.98$ ). It was concluded that the model can accurately simulate the development and growth of the peanut cultivars IAC 503 and IAC 505 under full and deficit irrigation, which makes it appropriate to assist decision making under irrigation management.

**KEYWORDS:** *Arachis hypogaea* L., Crop coefficient, DSSAT; Simulation

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma das mais importantes leguminosas do mundo, gerando emprego e renda. A China é o maior produtor e consumidor do mundo, representando cerca de 38% da produção global, estimada em 46,1 milhões de toneladas em 2020 (Conab, 2021). O Brasil é o 11º produtor de amendoim com produção anual estimada em 747 mil toneladas e 6º maior exportador de amendoim, sendo o estado de São Paulo responsável pela produção de 95% do amendoim nacional, obtida em duas safras: safra das águas (1ª safra - outubro a dezembro), que representa a maior área plantada e 98,6% da produção, e a safra da seca (2ª safra - janeiro a março).

A região Nordeste do estado de São Paulo é a maior região brasileira produtora de amendoim, que é cultivado durante a entressafra da cana-de-açúcar, em sucessão a essa cultura (Conab, 2018; Conab, 2020). As cultivares são do tipo Runner, a exemplo das cultivares IAC 503 e IAC 505, que vêm sendo largamente utilizadas nos campos de produção paulistas (Godoy et al., 2017). As duas cultivares podem ser consideradas semelhantes por apresentar características fenológicas e biométricas similares. A cultivar IAC 503 apresenta porte rasteiro, moderadamente resistente a doenças foliares, ciclo de 140 dias; vagens com duas sementes alongadas de tamanho médio a grande, sementes de cor castanho-claro; e potencial produtivo até 6.500 kg ha<sup>-1</sup> de vagens. A cultivar IAC 505 apresenta porte rasteiro, moderadamente resistente a doenças foliares, ciclo de 130 a 140 dias; vagens com duas sementes de tamanho médio (padrão comercial Runner), película castanho-claro; e potencial produtivo até 6.500 kg ha<sup>-1</sup>. Ambas as cultivares são indicadas para cultivos tecnificados e destacam-se por apresentar alto teor de óleo nas sementes, denominadas “alto oleico”, conferindo às sementes maior qualidade e maior tempo de prateleira (Aguiar et al., 2020).

O cultivo do amendoim no período de entressafra apresenta menos riscos fitossanitários, devido à menor precipitação, além de possibilitar a produção de sementes de boa qualidade e sua comercialização para a semeadura da safra das águas do mesmo ano. No entanto, devido à ocorrência de deficiência hídrica, baixas

temperatura e menor disponibilidade de radiação solar durante o outono, a semeadura em segunda safra apresenta baixa produtividade média (1600 kg ha<sup>-1</sup>) em relação ao cultivo na primeira safra (3600 kg ha<sup>-1</sup>) (Conab, 2022).

A cultura do amendoim está sujeita a múltiplos estresses abióticos, dentre eles a deficiência hídrica, devido às precipitações abaixo da demanda da cultura durante o ciclo de cultivo. O estresse hídrico é o fator que mais impacta negativamente o crescimento e produtividade da cultura em todo o mundo (Pereira et al., 2015).

No município de Jaboticabal, principal região brasileira produtora de amendoim, o clima é tropical, com 80% da precipitação pluvial no período de outubro a março. No período de outono-inverno ocorre baixa temperatura e precipitação reduzida e mal distribuída (Figueira e Rolim; Moreto e Rolim, 2015; Alvares et al., 2013). Essas condições climáticas causam períodos de deficiência hídrica frequentes, que comprometem a produtividade dos cultivos de amendoim na segunda safra.

O uso da irrigação é crucial para mitigar os impactos da deficiência hídrica e incrementar a produtividade do amendoimzeiro (Aydinsakir et al., 2016; Barbieri et al., 2017; Natarajan et al., 2020; Sousa et al., 2014; Thangthong et al., 2018). No entanto, a maioria desses resultados não é conclusiva sobre a viabilidade da aplicação dessa técnica, pelo fato de os experimentos de campo terem sido, em geral, realizados em curtos períodos, sujeitos à influência de condições climáticas de anos específicos.

O uso de modelos de simulação permite estimar o crescimento e o desenvolvimento de uma cultura submetida a manejos específicos, além dos seus componentes de produção em curto espaço de tempo sob condições edafoclimáticas de uma determinada região (Hoogenboom et al., 2019). Após serem calibrados e testados, esses modelos possibilitam realizar simulações de longo período utilizando dados meteorológicos históricos de determinada região para avaliar a eficiência de práticas de manejo, dentre as quais a irrigação, sob efeito da variabilidade interanual dos elementos climáticos.

Na literatura são citados diversos modelos de simulação, com suas vantagens e desvantagens para determinadas aplicações. Na modelagem agrônômica de leguminosas, o modelo CSM – CROPGRO incluso no sistema computacional DSSAT

(Decision Support System for Agrotechnology Transfer) tem se destacado em relação aos demais, pela sua capacidade de simular o crescimento e desenvolvimento da cultura, e os balanço de carbono, nitrogênio e hídrico em função das características do solo, da planta (coeficientes genéticos) e da atmosfera (Hoogenboom et al., 2015; Boote, 2019)

Para a cultura do amendoim, o sistema DSSAT disponibiliza o modelo CSM-CROPGRO – Peanut (Boote et al., 1986), que tem sido amplamente utilizado com várias finalidades, tais como: estimar perdas de produção em função da época de semeadura e do tipo de solo (Lima e Assunção, 2016); escolher a melhor época de semeadura e o nível de adubação fosfatada da cultura (Halder et al., 2017); definir o turno de rega e as lâminas de irrigação (Amiri et al., 2015; Soler et al., 2013); e avaliar o impacto das mudanças climáticas na produtividade de amendoim (Boote et al., 2018), crescimento e produtividade do amendoim sob condições climáticas sub-ótimas (Ahmad et al., 2021) .

A credibilidade da capacidade preditiva de um modelo de simulação pode ser estabelecida por meio de sua validação nas condições de uso (Jones et al., 2003). A validade dos resultados de produção e das estratégias de irrigação derivadas das análises utilizando esse método requer uma cuidadosa comparação entre os resultados de campo e simulados durante períodos representativos das condições climáticas do local. Na utilização de modelos matemáticos para estudos de risco de decréscimo de produção devido ao estresse hídrico e de respostas de cultivos à irrigação, há necessidade de avaliar a capacidade do modelo em simular corretamente o decréscimo de produtividade em função da condição hídrica durante o ciclo de cultivo.

A aplicação dos modelos do sistema DSSAT requer a calibração dos coeficientes genéticos para as cultivares de interesse, a fim de estimar corretamente o seu crescimento e desenvolvimento. A calibração é feita pela comparação entre os dados observados, coletados em experimentos de campo conduzidos com elevado rigor científico, e os resultados da simulação, assumindo-se as mesmas condições que o experimento. Para a cultura do amendoim, em geral, dois anos de cultivo são

suficientes para calibração visando o uso do modelo CSM-CROPGRO-Peanut, conforme constatado por Banterng et al. (2004) e Suriharn et al. (2007).

A fim de possibilitar a aplicação do modelo CSM-CROPGRO-Peanut em futuros estudos de riscos devido ao estresse hídrico, estabelecer estratégias eficientes de irrigação e determinar sua viabilidade, há necessidade de calibrar os coeficientes genéticos para as cultivares brasileiras. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi calibrar os coeficientes genéticos de cultivares de amendoineiro representativas do sistema de produção brasileiro (IAC 503 e IAC 505) com hábitos de crescimento e ciclo semelhantes.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Experimentos de campo**

A calibração dos coeficientes genéticos das cultivares IAC 503 e IAC 505, e o teste do modelo CSM-CROPGRO-Peanut foram realizados com dados de experimentos conduzidos durante três anos na FCAV/UNESP, em Jaboticabal - SP (latitude 21°14'50" S, longitude 48°17'05" O e altitude 570 m), por Oliveira et al. (2020) e Bertino (2021). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo AW, subtropical úmido, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos amenos e secos, com temperatura média anual de 22°C e precipitação anual de 1.425 mm (Alvares et al., 2013). No período de semeadura dos experimentos a região apresenta baixa precipitação pluvial, concentrada nos meses de fevereiro e março, com temperaturas máximas de 30°C, médias de 23 °C e mínimas de 16°C, Figura 1 (Figueira e Rolim; Moreto e Rolim, 2015).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (Embrapa, 2018) ou Oxisol (Soil Survey Staff, 2014), cujas características físicas e químicas são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Características físico-hídricas do solo do local do experimento 1.

Profundidade (cm)	Argila (%)	Silte (%)	CO (%)	$\theta_{cc}$ ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ )	$\theta_{pmp}$ ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ )	$\theta_{sat}$ ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ )
0-20	50,5	26,9	2,9	0,455	0,235	0,538
20-40	53,6	26,6	2,0	0,408	0,225	0,518
40-60	56,2	24,6	1,5	0,380	0,222	0,506
60-80	60,0	19,0	1,2	0,393	0,234	0,497
80-100	54,0	25,4	1,2	0,457	0,246	0,497

<sup>1</sup> Carbono orgânico (CO), Umidades na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ), no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ) e na saturação ( $\theta_{sat}$ ). Fonte: Adaptado de Santos et al. (2019).

Tabela 2. Características químicas do solo (0-20 cm) da área experimental ao longo dos experimentos.

Ano	pH	M.O.	P	S	Ca	Mg	Na	K	Al	H+Al	Soma Bases	CTC	Sat.	Sat.
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		-----					SMP	S.B.		Bases	Al
										mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----		V%	m%
2018	5,6	40	67	5	36	13	NS	3,4	1	21	52,7	73,9	71	1,9
2019	5,9	21	35	8	36	36	NS	3,9	0	23	52,4	75,4	70	0
2020	6,1	23	72	3	48	12	NS	3,5	0	15	63,9	79,1	81	0

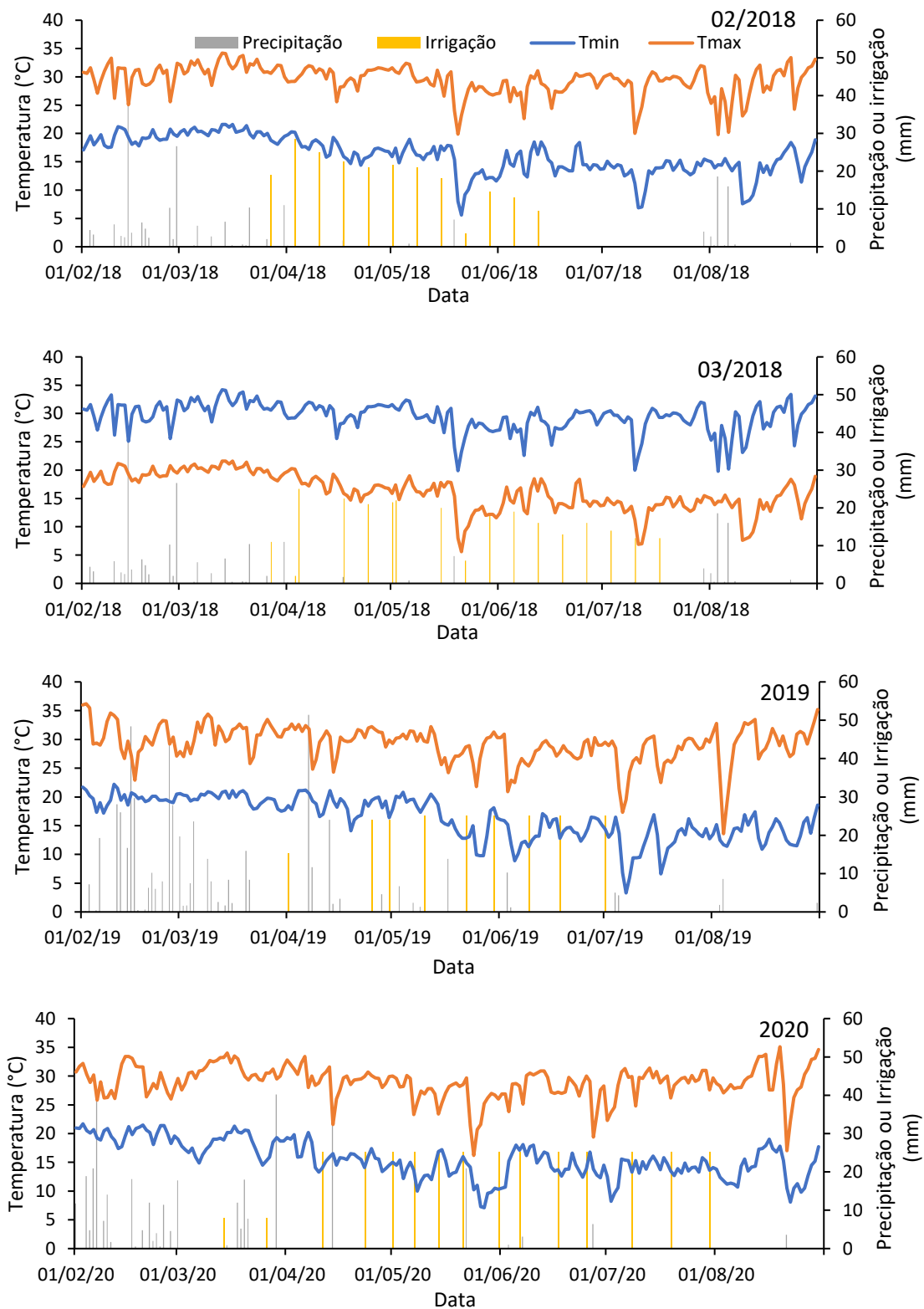


Figura 1. Temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin), precipitação pluvial e irrigação nos experimentos com semeaduras em fevereiro e março de 2018, março de 2019 e 2020.

Em 2018, a cultivar IAC 505 foi semeada em duas épocas, 6 de fevereiro (02/2018) e 6 de março (03/2018), e submetida a cinco níveis de irrigação por aspersão (L1, L2, L3, L4 e L5), correspondentes às reposições de 8%, 27%, 63%, 94% e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc8%, ETc27%, ETc63%, ETc94%, ETc100%) menos a precipitação (França et al., 2020). Em 2019, a cultivar IAC 503 foi semeada em 6 de março e conduzida com irrigação plena (L1) até o início de florescimento, quando foram diferenciados cinco tratamentos (L1, L2, L3, L4 e L5) com reposições de 10%, 33%, 61%, 78% e 100% da ETc (ETc10%, ETc33%, ETc61%, ETc78%, ETc100%) na fase reprodutiva, menos a precipitação (Bertino, 2021). Em 2020, a semeadura ocorreu em 11 de março e a cultivar IAC 503 foi submetida aos mesmos tratamentos de 2019, aplicados na fase reprodutiva. Os níveis de irrigação foram distribuídos em faixas e aplicados em quatro repetições, utilizando-se um sistema de aspersão em linha.

Os cultivos foram semeados no espaçamento de 0,9 m e densidade de 18 plantas por m<sup>2</sup>, após aração e gradagem para incorporar cerca de 15.000 kg ha<sup>-1</sup> de resíduo da cultura antecedente de milho, e aplicação de fertilizante no sulco de semeadura de 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, usando como fonte o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente. O controle fitossanitário seguiu as recomendações para a cultura de amendoim na região, para manter a cultura livre de patógenos.

As datas de ocorrência dos estádios fenológicos foram contabilizadas segundo a escala fenológica de Fehr e Cavness (1977), quando 50% das plantas apresentaram pelo menos uma flor (R1), uma vagem (R3), uma semente (R5) e a maturidade fisiológica com 50% das folhas com cor amarelada (R7). Durante o ciclo da cultura foram mensurados: biomassa seca, massa seca das vagens, índice de área foliar - IAF pelo integrador de área foliar Licor 3100 (exceto em 2020), altura de plantas e largura do dossel pelo aplicativo Canopeo® (Patrignani; Ochsner, 2015). A produtividade de vagens foi obtida em R7 nas parcelas experimentais. As dimensões da parcela experimental foram 5,4 m de largura e 2,4 m de comprimento (12,9 m<sup>2</sup>), contendo seis linhas espaçadas de 0,9 m. Considerou-se como área útil (2,7 m<sup>2</sup>) as duas linhas centrais de 1,5 m de comprimento.

## 2.2 O modelo CSM – CROPGRO – Peanut

As simulações foram realizadas com o modelo CSM – CROPGRO – Peanut incluído no sistema DSSAT, versão 4.7.5.0. (Hoogenboom et al., 2019). Boote et al. (1998) descreveram detalhadamente a estrutura e os métodos utilizados pelo modelo para simular o crescimento e desenvolvimento da cultura, considerando os balanços de carbono, nitrogênio e água no solo.

O modelo CSM – CROPGRO – Peanut é um modelo mecanicista e determinístico que simula o desenvolvimento e crescimento do amendoineiro em passos de cálculos diários, baseados no balanço de carbono, nitrogênio e água no solo. O balanço de carbono inclui a interceptação da radiação pelo dossel vegetal, a assimilação de C da atmosfera e a absorção da água do solo para a síntese de fotoassimilados, seguida da conversão de C em tecidos da cultura e consequentes perdas de C devido à respiração de crescimento e de manutenção. O balanço de nitrogênio considera a absorção diária de N do solo ou pela simbiose, a mobilização interna na planta e a reutilização da perda de N em abscisões das folhas. O balanço hídrico inclui os processos de entrada e saída de água do perfil de solo, dados pela infiltração de água da chuva e irrigação, evaporação da água do solo, absorção de água pelas raízes, drenagem de água através da zona efetiva de raízes, transpiração da cultura e escoamento superficial (Boote et al., 1986; Boote et al., 1998).

No modelo CSM – CROPGRO - Peanut, o efeito da restrição de água no solo é simulado por fator de estresse hídrico que reduz o crescimento da cultura e, consequentemente, a produtividade de biomassa e de grãos. A intensidade do estresse hídrico depende da demanda hídrica do cultivo (evaporação de água no solo e transpiração) e do teor de água no solo necessário para suprir essa demanda. O crescimento e a produtividade da planta também dependem de várias práticas de manejo, tais como irrigação, fertilidade do solo, cultivar, data de semeadura etc.

O modelo CSM - CROPGRO – Peanut requer um conjunto mínimo de dados de entrada (*MDS*), que incluem características químicas e físicas do perfil de solo, coeficientes genéticos da cultivar, variáveis meteorológicas diárias (temperaturas máxima e mínima, radiação solar e precipitação), e práticas de manejo da cultura para simular o crescimento e desenvolvimento do amendoineiro, e suas interações com o sistema solo-atmosfera (*outputs*). Com o MDS calcula-se a evapotranspiração de

referência (ET<sub>o</sub>) pelo método Priestley-Taylor e, havendo disponibilidade de dados de velocidade de vento e umidade relativa, pode-se calcular ET<sub>o</sub> pelo método Penman-Monteith parametrizado pela FAO-56 (Allen et al., 1988). Os dados de entrada de solo são requeridos para caracterizar as camadas do perfil do solo, tais como a espessura, umidades na capacidade de campo, ponto de murcha permanente e saturação, e a condutividade hidráulica do solo. Os dados da cultura incluem parâmetros que descrevem a interação do genótipo com o ambiente, denominados coeficientes genéticos, que requerem calibração para a cultivar de interesse com dados de experimentos conduzidos em campo (Figura 2).

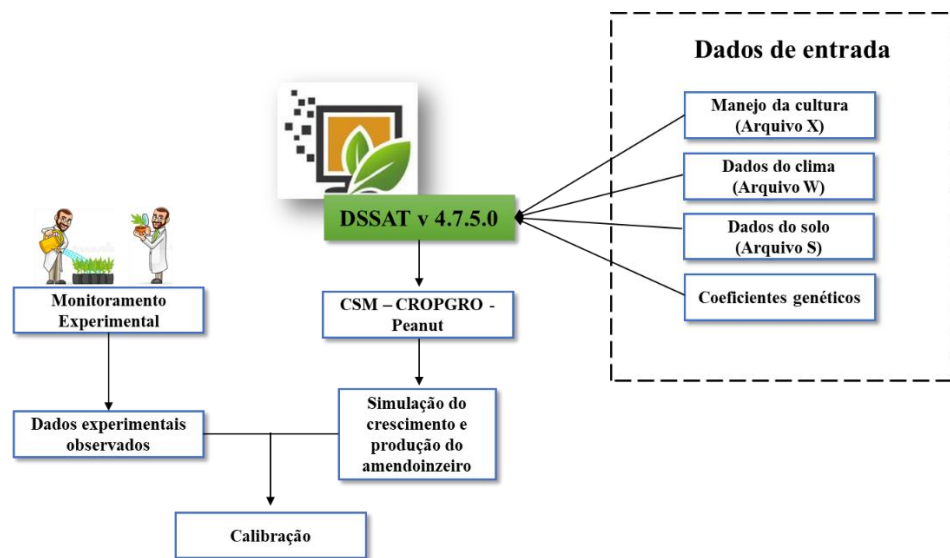


Figura 2. Fluxograma de informações do modelo de simulação CSM – CROPGRO – Peanut no DSSAT e dados experimentais utilizados para sua calibração e teste.

A operação dos modelos DSSAT, tais como o CSM-CROPGRO-Peanut, é definida pelo usuário em um arquivo controle, denominado arquivo X, no qual se informam as condições da simulação relacionadas ao manejo da cultura, definindo-se a cultivar utilizada e práticas agrícolas (espaçamento, fertilização, irrigação, cultivo antecedente etc.), o local (clima e solo) e as opções de análise (biofísica ou econômica de um experimento, sazonal, sucessão de cultivos e espacial). No DSSAT, o arquivo X é criado pelo programa Xbuild, o arquivo de clima (W) pelo programa WweatherMan, o arquivo de solos (S) pelo programa Sbuild e os coeficientes da cultura são fornecidos em três arquivos relacionados à cultivar, ecótipo e espécie, nos quais, os dois primeiros incluem os coeficientes relacionados com a cultivar e o terceiro contém os coeficientes gerais de uma determinada espécie de plantas. Finalmente, o programa ATcreate

organiza os dados experimentais no formato requerido em dois arquivos, tipo A para dados coletados uma única vez ao final de ciclo, e tipo T para dados coletados ao longo do ciclo de cultivo.

Os resultados das simulações constituem a produtividade e os componentes de produção dos cultivos em um ano específico ou a sua variabilidade ao longo dos anos para balanço de água e nitrogênio, entradas para melhor predição dos parâmetros simulados.

Nos modelos DSSAT as cultivares são caracterizadas por coeficientes de cultura, ou coeficientes genéticos, que definem o desenvolvimento e o crescimento da planta sob condições ambientais padrão, ou seja, com o mínimo estresse biótico ou abiótico. A duração dos intervalos entre os estádios fenológicos é dada pela soma de dias-fototérmicos (dft), na qual a taxa que a planta progride de um estágio a outro é função da temperatura, fotoperíodo e estresse hídrico. Se essas condições forem adequadas, a planta se desenvolve na taxa máxima diária e um dia cronológico corresponde a um dia fisiológico. Em condições sub-ótimas, a taxa de desenvolvimento é reduzida e o tempo para se atingir o próximo estágio é mais longo (Boote et al., 1998). No arquivo de espécie de cada cultura define os passos de cálculo das equações em função das condições de cultivo e indica se cada estágio é sensível à temperatura, fotoperíodo e déficit hídrico.

Os coeficientes genéticos relacionados com o ciclo fenológico da cultura incluem o comprimento crítico de dia curto ou longo (CSDL, CLDL), sensibilidade ao fotoperíodo (PPSEN), duração em dias fototérmicos (dft), da emergência até a floração (EMFL), da floração até a primeira vagem (FLSH), da floração até a primeira semente (FLSD), da floração até o final da expansão foliar (FLLF) e da primeira semente até a maturidade fisiológica (SDPM). Os coeficientes relacionados ao crescimento da planta incluem a taxa fotossintética máxima (LFMAX), área foliar específica (SLAVR), área foliar (SIZELF) e a máxima fração diária da partição de assimilados que são alocadas na vagem (XFRT). Os coeficientes relacionados ao crescimento na fase reprodutiva incluem a massa unitária da semente (WTPSD), duração do enchimento da semente (SFDUR), número médio de sementes por vagem (SDPDV) e duração do período de adição de vagens (PODUR) (Boote et al., 2003).

A calibração dos coeficientes genéticos consiste em determinar características fenológicas da cultivar, correspondentes às durações de períodos entre estádios fenológicos (emergência à floração, floração à primeira vagem, primeira vagem à primeira semente, primeira semente à maturidade fisiológica), e de crescimento da planta, incluindo acréscimos de biomassa, massa e número de vagens e grãos, número de folhas e área foliar ao longo do ciclo da cultura.

### **2.3 Calibração do modelo CSM – CROPGRO - Peanut**

A calibração dos coeficientes genéticos foi realizada com os dados de campo do tratamento com irrigação plena (ETc100%), nas duas épocas em 2018 (02/2018 e 03/2018), uma época em 2019 e outra em 2020, segundo o procedimento proposto por Suriharn et al. (2007) e Boote et al. (1999).

O Arquivo X foi elaborado considerando as datas e densidade de semeadura, doses de fertilizantes e lâminas de irrigação aplicadas, além das demais práticas de manejo da cultura e condições iniciais do cultivo, que foram as mesmas que as descritas para o experimento, no item anterior “Experimento de Campo” deste artigo.

O arquivo de solo incluiu os dados determinados por Santos et al. (2019) para caracterizar o perfil da área experimental, com as características granulométricas, retenção de água e características químicas dos solos (Tabela 1 e 2). O arquivo de clima foi elaborado com as entradas das coordenadas geográficas do local e dos dados meteorológicos diários de temperaturas máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação, obtidos de uma estação automática que ficava localizada a 1 km da área de estudo.

Os dados experimentais utilizados na comparação com os resultados das simulações foram organizados pelo ATcreat em a) um arquivo tipo A, incluindo fenologia, biomassa da parte aérea, produtividade e componentes de rendimento na maturação, e b) um arquivo tipo T, com biomassa da parte aérea, massa de vagens, índice de área foliar, altura e largura do dossel da planta, número de vagens, número de sementes por vagem, massa unitária de sementes e índice de colheita ao longo do ciclo de cultivo.

Pelo fato das cultivares IAC 503 e IAC 505 apresentarem características genéticas semelhantes, os coeficientes genéticos calibrados foram considerados representativos para ambas as cultivares, que foram incluídas no banco de dados do

DSSAT com a denominação IAC503-505. Iniciou-se a calibração atribuindo-se à cultivar IAC-503-505 os coeficientes genéticos de uma cultivar semelhante do banco de dados do DSSAT, a *Runer-type*, exceto para os coeficientes genéticos que foram mensurados nos experimentos desta pesquisa para as cultivares IAC 503 e IAC 505, tais como massa unitária de sementes (WTPSD), máxima área foliar de um trifólio (SIZLF), área foliar específica (SLAVR) e número de sementes por vagem (SDPDV).

A calibração dos coeficientes genéticos da nova cultivar foi realizada por método iterativo, utilizando-se o procedimento de análise de sensibilidade existente no DSSAT. Os coeficientes genéticos iniciais foram sendo ajustados em etapas, começando com os coeficientes genéticos de fenologia da cultura, visando minimizar os desvios entre os resultados das simulações e as datas observadas nos experimentos para floração, aparecimento da primeira vagem, primeira semente, e maturidade fisiológica. A seguir, foram calibrados os coeficientes genéticos relacionados com o crescimento da cultura, a fim de que as estimativas de altura de plantas e largura do dossel, biomassa e produtividade de vagens coincidisse com os valores experimentais.

#### **2.4 Teste do modelo CSM- CROPGRO-Peanut**

A capacidade em estimar dados de campo do modelo CSM- CROPGRO - Peanut foi testada utilizando-se os coeficientes genéticos calibrados para a cultivar IAC503-505 comparando-se os resultados das simulações com os dados independentes, que não foram utilizados na calibração, correspondentes aos resultados observados nos tratamentos de irrigação deficitária (L2, L3, L4). Nesta etapa foi também testada a capacidade do modelo em simular a umidade do solo para todos os tratamentos.

O grau de ajuste das simulações às variáveis biométricas obtidas em campo nas etapas de calibração e teste do modelo foi avaliado por meio dos seguintes índices estatísticos: coeficiente de determinação  $R^2$ , índice de concordância de Willmott (dW) (Willmott et al., 1985), raiz do erro quadrático médio (RMSE), cujos cálculos foram realizados pelas seguintes equações:

$$dW = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{Obs} - Y_{Sim})^2}{\sum_{i=1}^n (|Y_{Sim} - \bar{Y}| + |Y_{Obs} - \bar{Y}|)^2} \right] \quad (1)$$

em que dW variam de 0 a 1, n é número de observações,  $Y_{Obs}$  é valor observado,  $Y_{Sim}$  é valor simulado pelo modelo e  $\bar{Y}$  é média dos dados observados,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Y_{Obs} - Y_{Sim})^2} \quad (2)$$

na qual N é número de comparações, n é número de observações,  $Y_{Obs}$  é valor observado e  $Y_{Sim}$  é valor simulado pelo modelo. Quanto menor o valor do RMSE melhor é o erro do modelo em relação aos dados observados e

A precisão e acurácia do modelo em estimar cada variável foi avaliada em função de  $R^2$ , RMSE e dW, adaptada e classificada segundo FAO (2015), considerando-se o desempenho do modelo como muito bom quando  $R^2 \geq 0,90$  e  $dW \geq 0,7$ , Bom quando  $0,70 \leq R^2 < 0,90$  e  $dW \geq 0,7$  regular quando  $0,50 \leq R^2 < 0,70$  e  $dW \geq 0,7$  e ruim quando  $R^2 < 0,50$  e  $dW \leq 0,5$ . Valores de RMSE próximo de 0 indica um bom desempenho do modelo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Calibração do modelo CSM- CROPGRO-Peanut

Os coeficientes genéticos relacionados à fenologia, que foram calibrados com dados experimentais dos tratamentos com irrigação plena nos 4 ciclos de cultivo, são apresentados na Tabela 3. Assumiu-se o amendoineiro como neutro ao fotoperiodismo, ou seja, a duração do dia não afeta o florescimento das plantas (Ferrari Neto et al., 2012). Portanto, adotou-se como nula a resposta relativa de desenvolvimento para fotoperíodo com o tempo (PPSEN), tornando-se sem efeito o coeficiente de comprimento crítico do dia (CSDL = 11,84).

Os coeficientes genéticos calibrados, correspondentes às durações das fases fenológicas (Tabela 3), indicam que, em crescimento sob condições padrões, as cultivares IAC 503 e IAC505 desenvolvem-se da emergência à primeira flor (EMFL) em 23 dft, da primeira flor à primeira vagem (FLSH) em 9,1 dft, da primeira flor à primeira semente (FLSD) em 31,8 dft, e da primeira semente à maturação fisiológica

(SDPM) em 31,5 dft, totalizando 95,4 dft para completar o ciclo total. Durante o ciclo, a emissão foliar finaliza-se após 50 dft a partir da primeira flor (FLLF), a adição de vagens (PODUR) ocorre durante 12 dft e o enchimento de sementes (SFDUR) requer 30 dft. Comparada à cultivar Runer-type, fornecida no DSSAT, esta apresenta ciclo mais longo que a IAC 503 e IAC 505, com requerimento para completar o ciclo de 114 dft, sendo a duração dos períodos fenológicos equivalentes entre as duas cultivares até a primeira vagem (EMFL = 21,2 dft e FLSH = 8 dft para a Runer-type), porém com menor duração da Runer-type no período FLSD (17,8 dft) e maiores durações para SDPM (75,3 dft), (FLLF =88 dft), (PODUR = 25 dft) e (SFDUR = 40 dft), respectivamente. Assim como em outros trabalhos da literatura (Ahmad et al., 2021; Sezen et al., Halder et al., 2017; Sezen et al., 2021), há redução do ciclo da cultura simulada pelo modelo em relação à cultivar Runer-type, padrão do sistema DSSAT.

Tabela 3. Coeficientes genéticos da cultivar Runer-type - padrão DSSAT (entre parêntesis) e calibrados para as cultivares IAC 503 e IAC 505 com dados do tratamento sob irrigação plena nos experimentos de 2018, 2019 e 2020 – FASE DE CALIBRAÇÃO.

Coeficientes genéticos de desenvolvimento								
PPSEN	CSDL	EMFL	FLSH	FLSD	SDPM	FLLF	PODUR	SFDUR
0	11,84	23,00	9,10	31,8	31,50	50,00	12,00	30,00
(0)	(11,84)	(21,20)	(8,00)	(17,80)	(75,50)	(88,00)	(25,00)	(40,00)
Coeficientes genéticos de crescimento								
LFMAX	SLAVR	SIZLF	XFRT	WTPSD	SDPDV	THRSH	SDPRO	SDLIP
1.16	240,00	13,00	0,89	0,584	1,81	70,00	0,27	0,51
(1,40)	(260,00)	(18,00)	(0,94)	(0,660)	(1,81)	(80,00)	(0,27)	(0,51)
Coeficientes genéticos de ecótipo								
RWDTH	HGHT							
0,8	0,5							
(1)	(1)							

**Coefficientes do crescimento da raiz**

<u>Profundidade (cm)</u>	<u>Coef R</u>
0-20	1,00
20-40	0,54
40-60	0,36
60-80	0,25
80-100	0,17

<sup>1</sup> CSDL - Comprimento crítico de dia curto, abaixo do qual o desenvolvimento reprodutivo progride sem efeito do comprimento do dia, PPSen - Sensibilidade do desenvolvimento para fotoperíodo, EMFL - emergência e florescimento, FLSH - primeira flor e primeira vagem, FLSD - primeira flor e primeira semente, SDPM - primeira semente e maturação fisiológica, FLLF - primeira flor e fim da expansão de folha;<sup>2</sup>LFMAX - taxa máxima de fotossíntese de folhas a 30°C, 350 ppm CO<sub>2</sub>, e alta luminosidade (mg CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>); SLAVR - área foliar específica da cultivar sob condições padrões de crescimento (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); SIZLF - tamanho máximo de folha completa (folha trifoliada) (cm<sup>2</sup>); XFRT - fração máxima do crescimento diário que é repartido para semente + vagem; WTPSD - massa máxima de sementes (g); SFDUR - duração de enchimento de grãos para condições padrões de crescimento (dias fototérmicos); SDPDV - média de grãos por vagem sob condições padrões de crescimento; PODUR - tempo requerido para a cultivar atingir o enchimento de vagens sob condições padrões ótimas (dias fototérmicos), THRS - taxa máxima de produção de sementes em relação a produção de vagem até a maturação fisiológica [100\*semente/(semente + casca), SDPRO – fração de proteína na semente, SDLIP- fração de óleo na semente;<sup>3</sup>RWDTH – largura do dossel relativa em comparação com a cultivar padrão e HGHT - altura relativa em comparação com a cultivar padrão.

Os coeficientes genéticos relacionados às características foliares (Tabela 3) foram calibrados em 13 cm<sup>2</sup> para tamanho máximo de folha completa (SIZLF), sendo inferior ao deste coeficiente da Runner-type (18 cm<sup>2</sup>), e 240 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> para área foliar específica (SLAVR), ligeiramente superior ao daquela cultivar (260 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>). Para os órgãos reprodutivos, a média de sementes por vagem foi calibrada com o mesmo valor da Runner-type (SDPDV=1,81), enquanto a massa unitária da semente (WTPSD) foi 0,58 g e 0,66 g, para as cultivares calibradas (IAC 503 e IAC 503) e Runner-type, respectivamente.

Os coeficientes genéticos correspondentes à eficiência fotossintética e fração de partição de assimilados (Tabela 3) foram calibrados com valores de 1,16 mg CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> (LFMAX) e 0,89 (XFRT), respectivamente, próximos aos coeficientes da Runner-type, que foram 1,4 mg CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> e 0,94, respectivamente. Finalmente, a constituição da semente em proteína e lipídio foi assumida como sendo iguais às da Runner-type (SDPRO = 0,27 e SDLIP=0,52 g g<sup>-1</sup> de semente). Para representar o porte menor da cultivar IAC 505 e IAC 503 em relação ao porte padrão de cultivares de amendoim presentes no sistema DSSAT, o coeficiente de altura relativa (RHGHT)

foi ajustado para 0,8 e o coeficiente da cobertura relativa (RWDTH) para 0,5 no arquivo dos coeficientes do ecótipo da cultivar (Tabela 3).

Utilizando-se os coeficientes genéticos calibrados das cultivares IAC 503 e IAC 505 no modelo CSM – CROPGRO – Peanut, a comparação dos resultados simulados com os observados de desenvolvimento da cultura na fase de calibração demonstrou que o modelo estimou corretamente a duração do ciclo e as datas dos estádios fenológicos para o tratamento sob irrigação plena, nos quatro ciclos de cultivo em 2018, 2019 e 2020 (Tabela 4). Assim, as datas simuladas foram iguais às observadas no experimento de 2019, sendo o aparecimento da primeira flor estimado em 36 dias após a semeadura (DAS), aparecimento da primeira vagem em 60 DAS, da primeira semente em 81 DAS e a maturidade fisiológica em 125 DAS (Tabela 4). Nas simulações de 2018 e 2020 houve pequenos desvios em relação às observações, ou seja, em 2018 o modelo subestimou em 2 dias o período do início da floração e em 5 dias o período da maturidade fisiológica em março de 2018; para 2020 o modelo subestimou em 10 dias o aparecimento da primeira flor, em 12 dias o aparecimento da primeira semente e em 7 dias o período da maturidade fisiológica. Dangthaisang et al. (2006) notaram disparidades semelhantes para as simulações com o CSM-CROPGRO - Peanut. Os erros de simulação podem ser devidos a falhas na determinação das datas de ocorrência dos estádios fenológicos da cultura ou por imprecisão do modelo em simular o processo fenológico.

O desempenho do modelo para as simulações de altura em comparação com os dados observados na fase de calibração foi muito bom, segundo classificação de Fao (2015), conforme revelado pelos valores elevados de coeficientes de  $R^2$  (0,89 a 0,97), baixo RMSE (0,022 – 0,050 m) e alto dW (0,79 – 0,96) (Figura 3). O modelo também apresentou desempenho regular para estimar a largura do dossel da planta ( $R^2$  de 0,69 – 0,9, RMSE de 0,085 – 0,447 m e dW de 0,79 – 0,96) na sua fase de expansão, mas apresentou desempenho ruim ao simular a redução do dossel devido a abscisão das folhas nos estágios finais da cultura (Figura 3).

Tabela 4. Durações dos estádios fenológicos simuladas (Sim) pelo modelo CSM - CROPGRO - Peanut e observadas (Obs) no tratamento sob irrigação plena (ETc100%), de acordo com o ano do experimento - FASE DE CALIBRAÇÃO

Época	Primeira flor (Obs)	Primeira flor (Sim)	Primeira vagem (Obs)	Primeira vagem (Sim)	Primeira semente (Obs)	Primeira semente (Sim)	Maturidade fisiológica (Obs)	Maturidade fisiológica (Sim)
2018/1	33	35	-	57	-	76	117	117
2018/2	34	36	-	62	-	86	135	128
2019	36	36	60	60	81	81	125	125
2020	30	40	62	72	87	99	132	141

O modelo teve desempenho muito bom em simular o índice de área foliar (IAF), revelada pela alta correlação ( $R^2 = 0,93$ ), baixo erro (RMSE = 0,382) e elevado índice de concordância (dW = 0,94) (Figura 3.). Ao avaliar a performance do modelo CSM - CROPGRO - Peanut em simular IAF em dois anos de cultivo de amendoim sob diferentes intervalos de irrigação e níveis de água no solo, Sezen et al. (2021) constatou, na fase de calibração, que o modelo apresentou desempenho muito bom para simular o IAF (RMSE = 0,81 e dW = 0,87), confirmando a habilidade do modelo em simular o índice de área foliar.

O desempenho do modelo foi muito bom ao simular a biomassa da cultura na fase de calibração, conforme revelado pelos índices favoráveis de acurácia (dW = 0,97 e 96; RMSE = 1177,25 e 1044,34 kg ha<sup>-1</sup>) em 2019 e 2020, respectivamente (Figura 3). Da mesma forma, o modelo apresentou desempenho muito bom na simulação da massa de vagens no período de calibração, ( $R^2 = 0,98$  e 0,99, RMSE = 231,76 e 673,06 kg ha<sup>-1</sup> e dW = 0,98 e 0,85) em 2019 e 2020, respectivamente (Figura 3). Desempenho excelente do modelo foram alcançados por Aimiri et al. (2015) em dois anos de cultivo de amendoimzeiro, com índices  $R^2$  de 0,80 a 0,9 e dW de 0,88 a 0,95 para a biomassa, e  $R^2$  de 0,92 – 0,97 e dW de 0,95 a 0,96 para a massa de vagens. Embora o desempenho do modelo seja muito bom ao simular a biomassa e massa de vagens, o erro (RMSE) apresentado é alto particularmente para as estimativas de biomassa e massa de vagens ao final do ciclo.

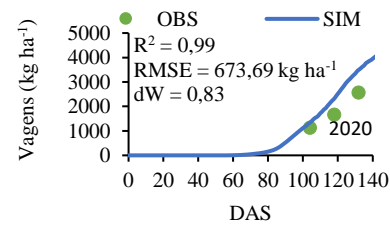
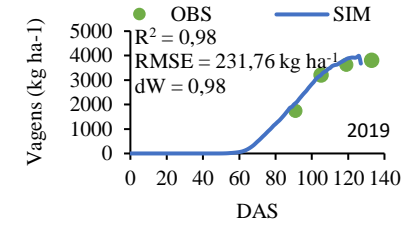
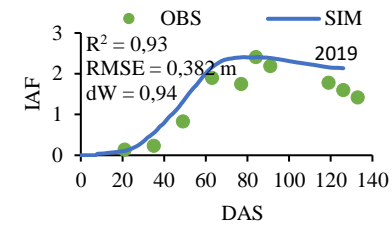
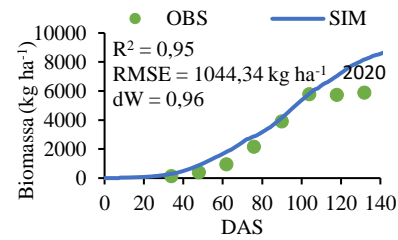
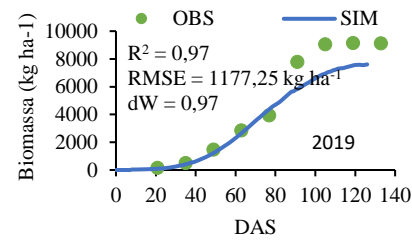
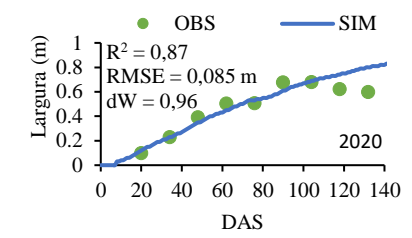
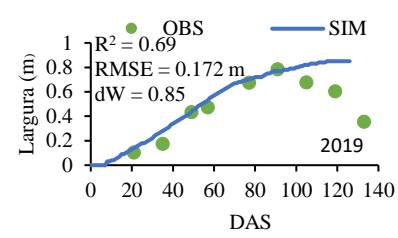
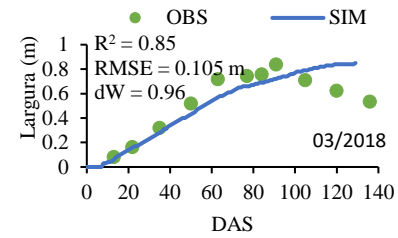
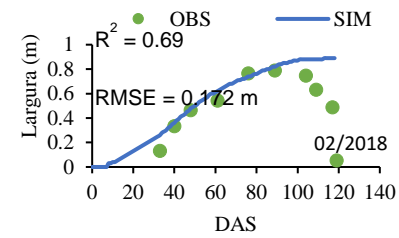
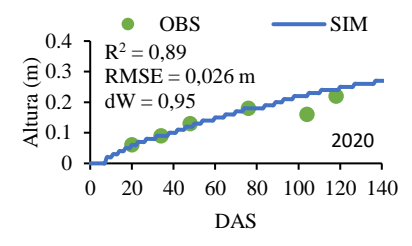
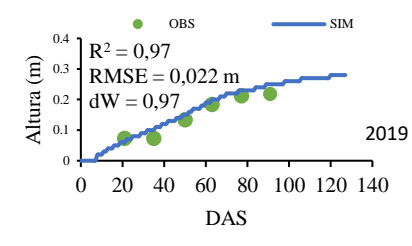
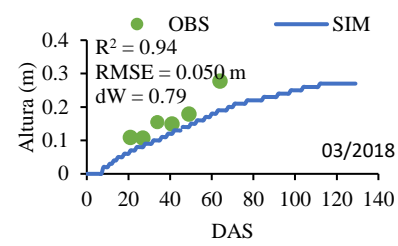
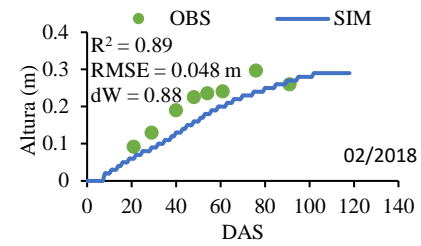


Figura 3. Altura de plantas, largura do dossel, Biomassa, Índice de área foliar (IAF) e Massa de vagens, simulados (SIM) pelo modelo CSM-CROPGRO -Peanut e observados (OBS) nos tratamentos sob irrigação plena (ETc100%) durante os experimentos de 2018, 2019 e 2020 - FASE DE CALIBRAÇÃO.

### 3.2 Teste do modelo CSM- CROPGRO-Peanut Model

O desempenho do modelo foi muito bom em estimar as durações, em dias após a semeadura (DAS), dos períodos de floração ( $R^2$  de 0,9; RMSE de 3,5 dias e dW de 0,75) e maturidade fisiológica ( $R^2$  de 0,91, RMSE de 8,6 e dW de 0,96) (Figura 4). Os períodos da emissão da primeira vagem e da primeira semente simulados coincidiram com os dados observados, independentemente do nível de irrigação aplicado nos tratamentos.

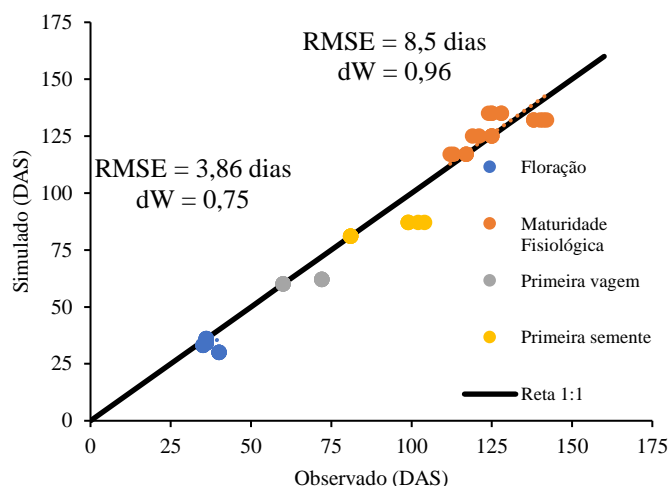
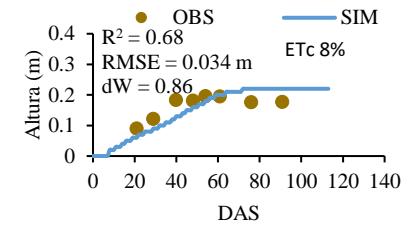
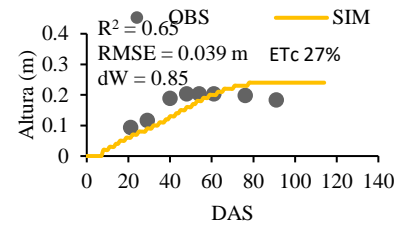
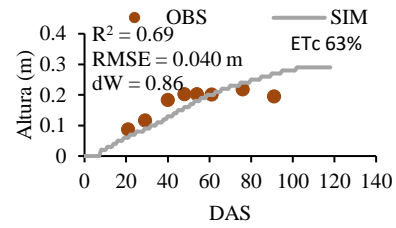
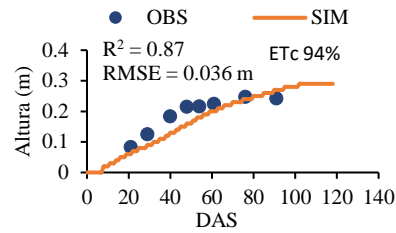


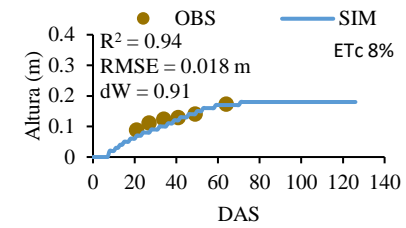
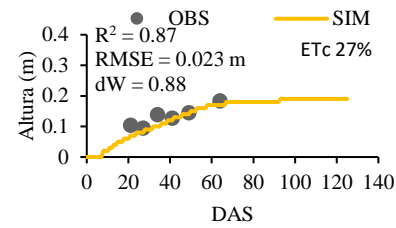
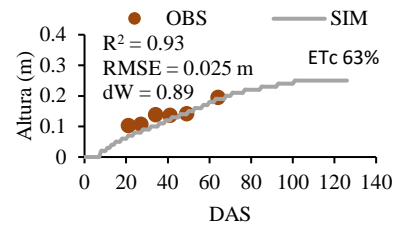
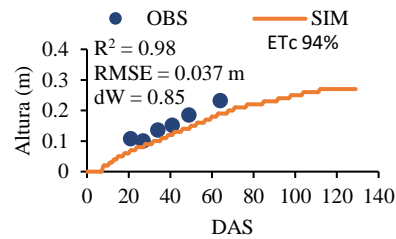
Figura 4. Durações dos estádios fenológicos simuladas pelo modelo CSM - CROPGRO – Peanut e observadas, em dias após a semeadura (DAS), para todos os tratamentos dos experimentos conduzidos em 2018, 2019 e 2020 - FASE DE TESTE.

O desempenho do modelo foi muito bom em simular altura de plantas para todos os tratamentos com irrigação deficitária. Na simulação da altura das plantas para 2018, para irrigação deficitária imposta durante todo o ciclo, o modelo apresentou alta acurácia (RMSE), de 0,034 a 0,04 m e 0,018 a 0,037 m para semeadura em fevereiro e março, respectivamente. Na simulação de altura de plantas em 2019, na condição de irrigação deficitária na fase reprodutiva da cultivar, o desempenho do modelo foi muito bom (RMSE de 0,024 – 0,039 m,  $R^2$  de 0,91 – 0,98 e dW de 0,89 – 0,96). No ano de 2020 também houve muito bom desempenho na simulação da altura das plantas (RMSE de 0,014 – 0,018 m,  $R^2$  de 0,91 a 0,98 e dW de 0,98 a 0,99), (Figura 5).

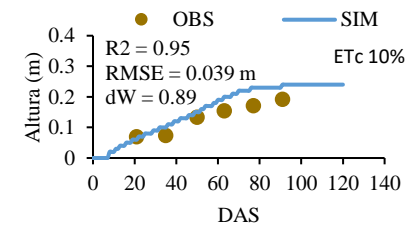
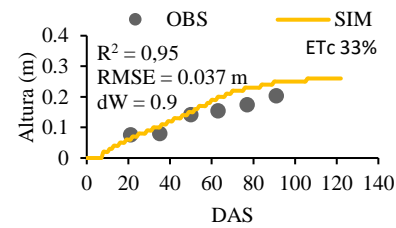
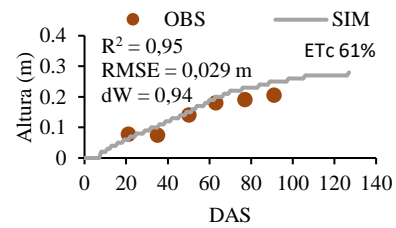
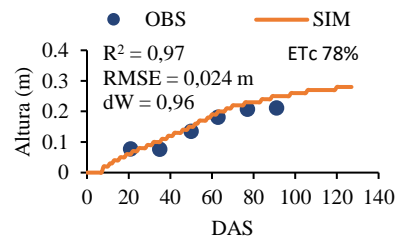
02/2018



03/2018



2019



2020

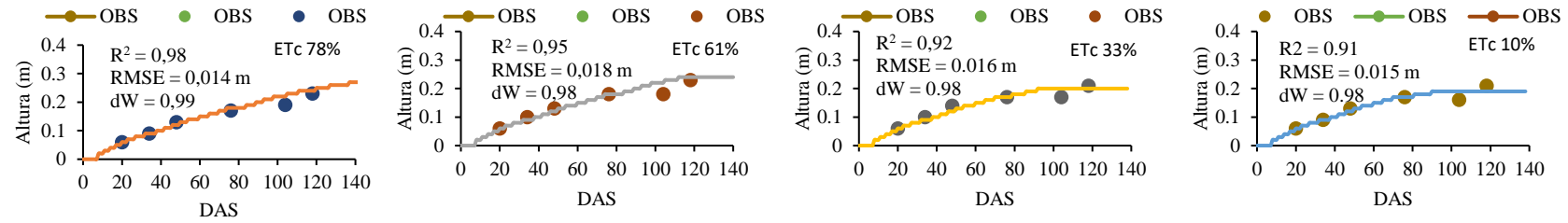
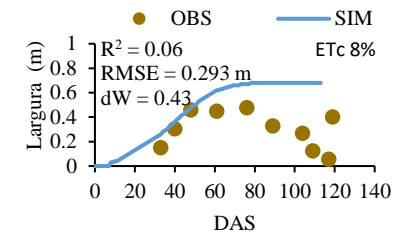
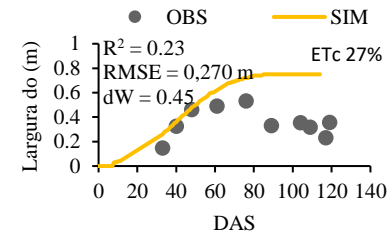
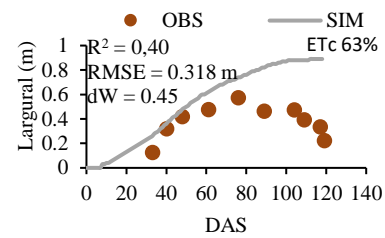
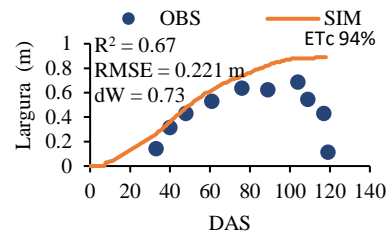


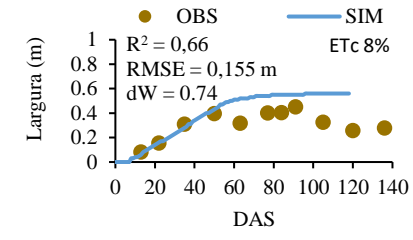
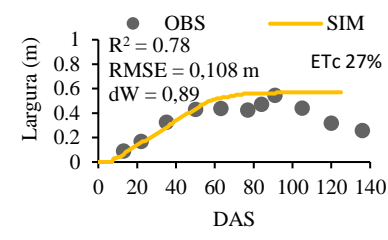
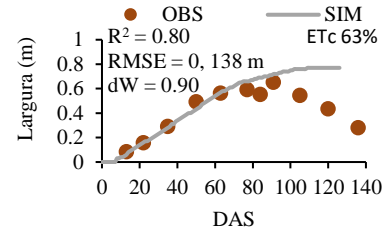
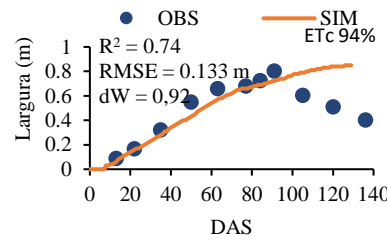
Figura 5. Altura das plantas simulada (SIM) pelo modelo CSM- CROPGRO-Peanut e observada (OBS), dias após a semeadura (DAS) nos tratamentos sob irrigação deficitária, durante o experimento semeado em 2018 a 2020 – FASE DE TESTE.

O desempenho do modelo foi regular para estimar a largura do dossel nos experimentos conduzidos em 2018, 2019 e 2020, conforme revelado pelo RMSE de 0,108 a 0,318 m e dW de 0,45 a 0,94. Apesar dos coeficientes estatísticos apresentarem boa concordância entre os dados, o modelo não foi capaz de simular a redução da largura do dossel após atingir o seu ponto máximo (Figura 6). Visto que a largura do dossel simulada pelo modelo é baseada no número máximo de folhas (V – stage), com a simulação do crescimento da planta é atingida o número máximo de folhas e conseqüentemente a largura do dossel permanece constante até o final do ciclo (Boote et al., 2021; Boote et al., 1986). Assim o modelo não simula a redução do dossel da cultura, que foi observado no experimento de campo utilizando o aplicativo Canopeo, que mensura o percentual de cobertura do dossel (Figura 6).

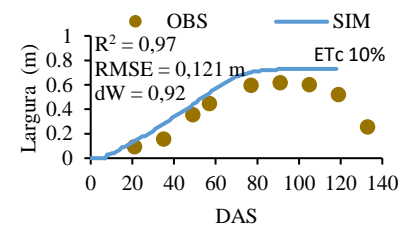
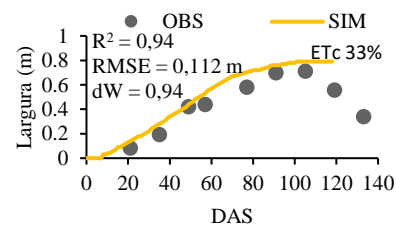
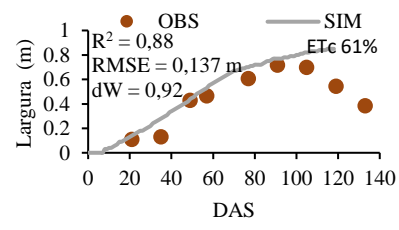
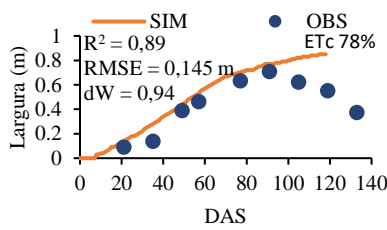
02/2018



03/2018



2019



2020

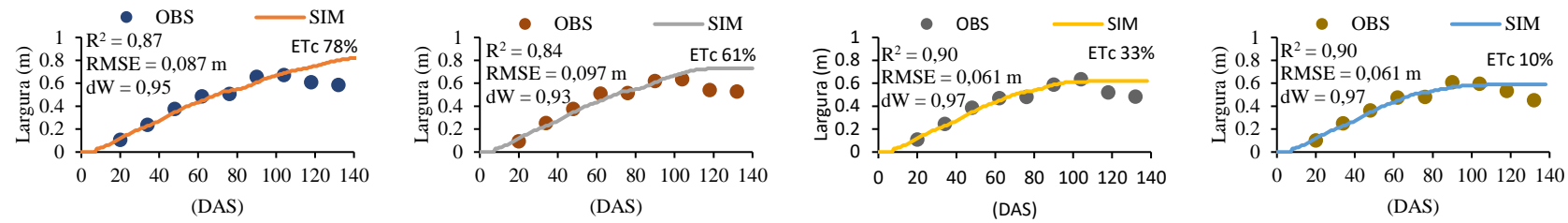


Figura 6. Largura do dossel de plantas simulada (SIM) pelo modelo CSM- CROPGRO-Peanut e observada (OBS), em dias após a semeadura (DAS) nos tratamentos sob irrigação deficitária, durante o experimento semeado em 2018 a 2020 – FASE DE TESTE.

O modelo teve desempenho muito bom na estimativa do índice de área foliar para os quatro tratamentos de irrigação deficitária no experimento de 2019 com  $R^2$  de 0,94 – 0,96, RMSE de 0,388 – 0,484 e  $dW$  de 0,88 – 0,94. Havendo a redução da acurácia do modelo com o aumento do déficit de irrigação aplicado, (Figura 7). A menor acurácia ocorreu no tratamento com maior déficit de irrigação aplicado (ETc10%).

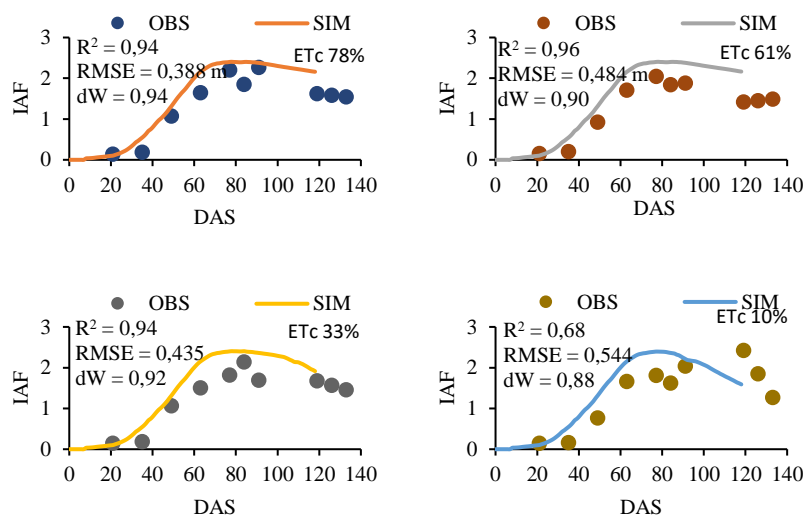
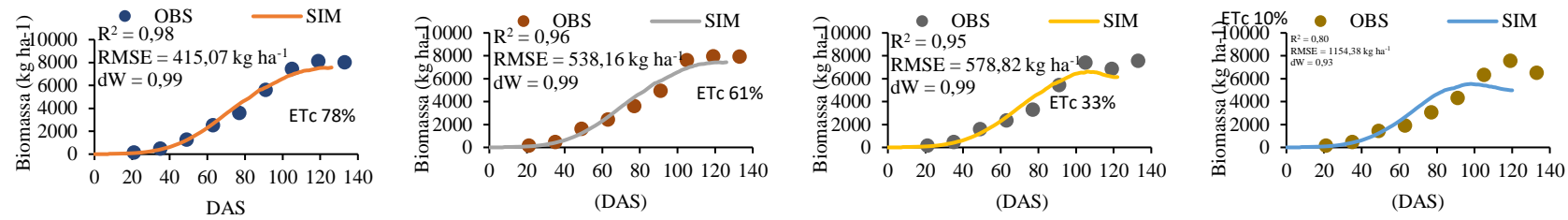


Figura 7. Índice de área foliar (IAF) simulada (SIM) pelo modelo CSM- CROPGRO-Peanut e observada (OBS), em dias após a sementeira (DAS) nos tratamentos sob irrigação deficitária, durante o experimento semeado em março de 2019 – FASE DE TESTE.

O modelo calibrado obteve muito bom desempenho ao simular a biomassa ao longo do ciclo de cultivo em todos os níveis de déficit hídrico aplicados, com  $R^2$  que variou de 0,80 a 0,98 e índice de concordância de Willmott variando de 0,92 a 0,98, e RMSE de 415 a 1154  $kg\ ha^{-1}$  para todas as estratégias de irrigação em 2019 e 2020 (Figura 8). Os maiores erros e menor precisão foram observados nos tratamentos sob déficit hídrico acentuado com reposição de 33% e 10% da ETc. O desempenho do modelo também foi muito bom na estimativa da produtividade de vagens ao longo do ciclo ( $0,40 < R^2 < 0,98$ ;  $323\ kg\ ha^{-1} < RMSE < 1154\ kg\ ha^{-1}$ ;  $0,43 < dW < 0,98$ ), (Figura 8). Assim como ocorreu para os dados de biomassa os maiores erros e menor precisão foram observados nos tratamentos sob déficit hídrico acentuado com reposição de 33% e 10% da ETc. Estes resultados corroboram diversos trabalhos da

literatura que demonstram a excelente capacidade preditiva do modelo CSM-CROPGRO-Peanut em simular a biomassa e massa de vagens sob diversas condições climáticas, manejo da irrigação (Aimiri et al., 2015, Sesen et al., 2021, Narh et al., 2015), dentre outras aplicações, como a interação entre níveis de nitrogênio e água no solo na rotação da cultura do milho com a cultura do amendoim (Re et al., 2020).

2019



2020

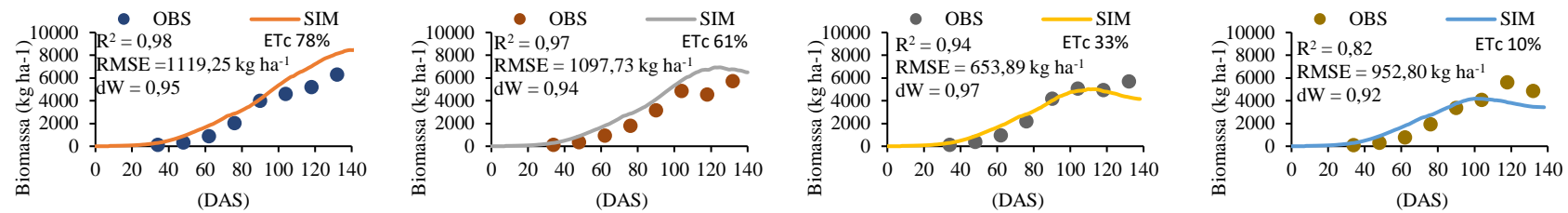
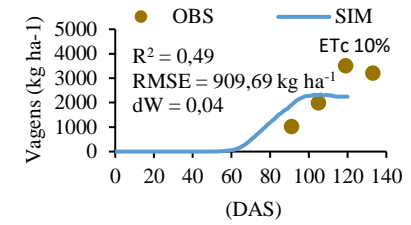
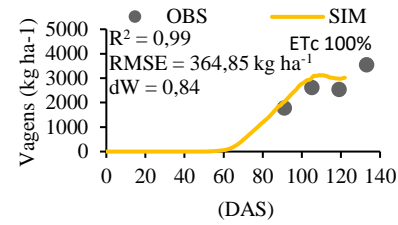
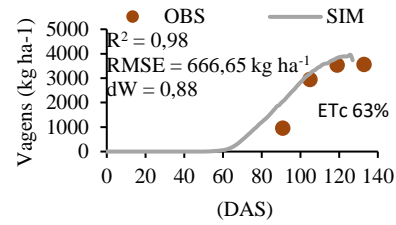
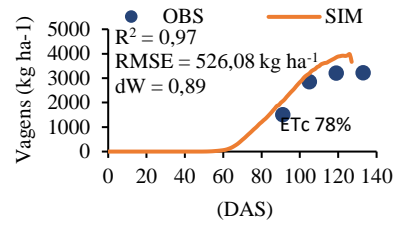


Figura 8. Massa de vagens simulada (SIM) pelo modelo CSM- CROPGRO-Peanut e observada (OBS), em dias após a semeadura (DAS) nos tratamentos sob irrigação deficitária, durante o experimento semeado em março de 2020 – FASE DE TESTE.

2019



2020

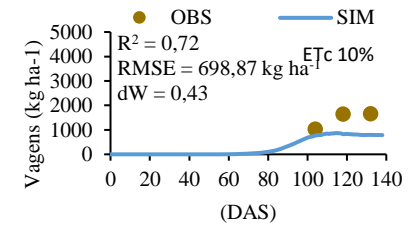
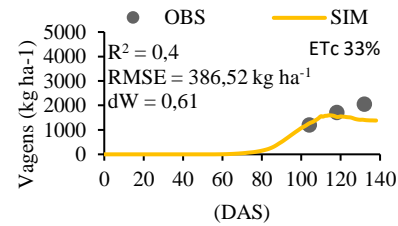
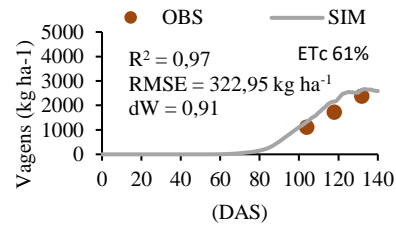
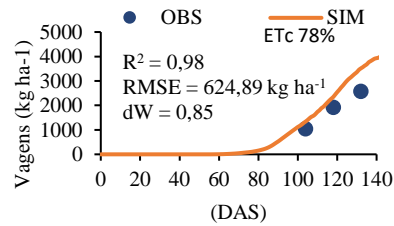


Figura 8. Continuação.

O modelo teve desempenho regular na simulação da produtividade de vagens e biomassa ao final dos ciclos de cultivos em 2018 – 2020 (RMSE= 944 kg ha<sup>-1</sup> e dW = 0,81). Em 2019 e 2020 o modelo teve desempenho regular ao simular a biomassa final da cultura (R<sup>2</sup> = 0,67, RMSE= 1275 kg ha<sup>-1</sup> e dW = 0,7) (Figura 9). A variabilidade da produtividade de vagens e biomassa simulada, em relação à observada, é justificada pela imprecisão do modelo em simular essas variáveis nos tratamentos sob estresse hídrico severo (ETc 10%) em ambos os anos da simulação.

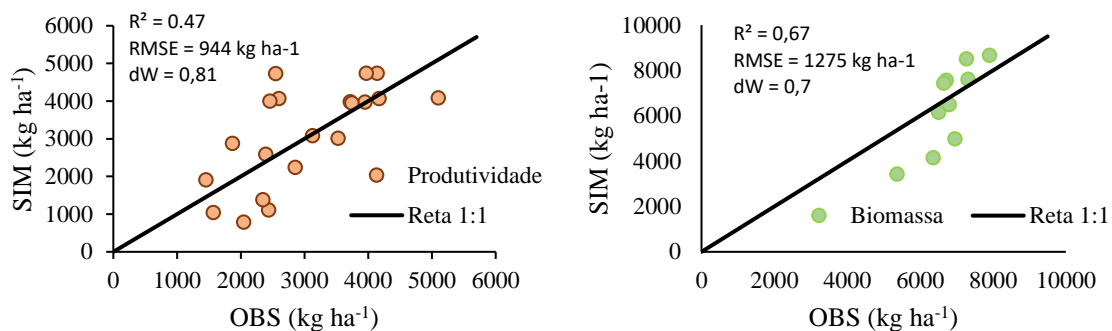


Figura 9. Produtividade final de vagens de amendoim em 2018, 2019 e 2020, e biomassa final em 2019 e 2020, observada e simuladas pelo modelo CSM-CROPGRO -Peanut nos tratamentos sob irrigação plena e deficitária. - FASE DE TESTE.

#### 4. CONCLUSÕES

Na fase de calibração e teste o modelo CSM-CROPGRO-Peanut teve desempenho muito bom ao simular as datas de ocorrência dos estádios fenológicos, altura das plantas, índice de área foliar, massa de vagens (R<sup>2</sup> de 0,95 a 0,97, RMSE de 232 a 909 kg ha<sup>-1</sup> e dW de 0,96 a 0,97) e biomassa (R<sup>2</sup> de 0,98 a 0,99; RMSE de 415 a 1117 kg ha<sup>-1</sup>; e dW de 0,85 a 0,98). No entanto, apresentou desempenho ruim ao simular a redução do dossel devido à abscisão das folhas nos estágios finais da cultura, e subestimou a massa de vagens e biomassa quando a cultura é submetida à reposição de água no solo menor ou igual 33% da ETc.

O modelo CSM-CROPGRO-Peanut em combinação com experimentos de campo pode ser usado para quantificar variáveis hidrológicas e variáveis biofísicas, constituindo em mais uma ferramenta para a tomada de decisão no manejo da irrigação.

## 5. REFERÊNCIAS

- Aguiar AT, Gonçalves C, Paterniani MEAGZ, Tucci MLSA, de Castro CEF (2020) Instruções Agrícolas para as Principais Culturas Econômicas.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, Italy: United Nations FAO.
- Amiri E, Abdzad Gohari A, Mianabadi A (2015). Evaluation of water schemes for peanut, using CSM-CROPGRO-Peanut model. **Archives of Agronomy and Soil Science** 61(10):1439-1453.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JDM, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22(6): 711-728.
- Ahmad A, Wajid A, Saleem, MH, Shehzadi M, Rehan M, Hussaan M, Ali S (2022) Simulating the growth and yield of peanut cultivars under temporal variation using cropgro-peanut (DSSAT) model. **Pak. J. Bot** 54(3):835-842.
- Anothai J, Patanothai A, Jogloy S, Pannangpetch K, Boote KJ, Hoogenboom G. (2008) A sequential approach for determining the cultivar coefficients of peanut lines using end-of-season data of crop performance trials. **Field Crops Research** 108(2):169-178.
- Aydinsakir K, Dinc N, Buyuktas D, Bastug R, Toker R (2016) Assessment of different irrigation levels on peanut crop yield and quality components under Mediterranean conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** 142(9):04016034.
- Banternng P, Patanothai A, Pannangpetch K, Jogloy S, Hoogenboom G (2004) Determination and evaluation of genetic coefficients of peanut lines for breeding applications. **European Journal of Agronomy** 21(3):297-310.
- Barbieri JD, Dallacort R, Faria CA, De Freitas PS, De Carvalho MA (2017) Peanut cultivars submitted to irrigation levels and nitrogen adubation in tropical climate. **Engenharia Agrícola** 37:1126-1136.
- Bertino AMP (2021) **Irrigação deficitária na cultura do amendoim – avaliando nutrição e produção agrônômica na segunda safra**. 50p. Tese (Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal)) – Unesp, Jaboticabal.
- Boote KJ, Seepaul R, Mulvaney MJ, Hagan AK, Bashyal M, George S, Wright DL (2021) Adapting the CROPGRO model to simulate growth and production of Brassica carinata, a bio-fuel crop. **GCB Bioenergy** 13(7): 1134-1148.
- Boote K (2020). Advances in crop modelling for a sustainable agriculture. Burleigh Dodds Science Publishing Limited.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2018). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2017/2018 décimo primeiro levantamento 2018. v. 5. Nº11. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>>. Acesso em 28 de janeiro de 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2020). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2019/2020 décimo primeiro levantamento 2020. v. 5. Nº11. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 28 de janeiro de 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2021). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2020/2021 décimo primeiro levantamento 2021. v. 5. Nº11. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 28 de janeiro de 2022.

Dallacort R, de Freitas PS, Faria RTD, Gonçalves AC, Jácome AG, Rezende R (2010) Soil water balance simulated by CROPGRO-Drybean model for edaphoclimatic conditions in Maringá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 14: 351-357.

Dangthaisong P, Banterng P, Jogloy S, Vorasoot N, Patanothai A, Hoogenboom G (2006). Evaluation of the CSM-CROPGRO-Peanut model in simulating responses of two peanut cultivars to different moisture regimes. **Asian Journal of Plant Sciences**.

DeJonge KC, Ascough II JC, Andales AA, Hansen NC, Garcia LA, Arabi M (2012) Improving evapotranspiration simulations in the CERES-Maize model under limited irrigation. **Agricultural Water Management** 115:92-103.

DeJonge KC, Thorp KR (2017) Implementing standardized reference evapotranspiration and dual crop coefficient approach in the DSSAT cropping system model. **Transactions of the ASABE** 60(6):1965-1981.

EMBRAPA (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos.

Fehr WR, Caviness CE (1977) Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 11p.

Figueira SRF, Rolim GDS (2020) Economic and agrometeorological modeling of sugarcane productivity in São Paulo state, Brazil. **Agronomy Journal** 112(6):4836-4848.

Garrison MV, Batchelor WD, Kanwar RS, Ritchie JT (1999) Evaluation of the CERES-Maize water and nitrogen balances under tile-drained conditions. **Agricultural Systems** 62(3):189-200.

Godoy IJ et al. Cultivares de amendoim IAC Alto Oleicos (2017). Disponível em: <http://infoamendoim.com.br/site/cultivares-de-amendoim-iac-alto-oleicos/>. Acesso em: 03 de março de 2021.

Halder D, Panda RK, Srivastava RK, Kheroar S (2017) Evaluation of the CROPGRO-Peanut model in simulating appropriate sowing date and phosphorus fertilizer application rate for peanut in a subtropical region of eastern India. **The Crop Journal** 5(4):317-325.

Hoogenboom G et al (2015). Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 ([www.DSSAT.net](http://www.DSSAT.net)). DSSAT Foundation, Prosser, Washington, 2015.

- Hoogenboom G et al. (2019). The DSSAT crop modeling ecosystem. *In*: p.173-216 [K.J. Boote, editor] *Advances in Crop Modeling for a Sustainable Agriculture*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, United Kingdom (<http://dx.doi.org/10.19103/AS.2019.0061.10>)
- Jones JW, Antle JM, Basso B, Boote KJ, Conant RT, Foster I, Wheeler TR (2017) Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. ***Agricultural systems*** 155:269-288.
- Jones JW, Hoogenboom G, Porter CH, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA, Ritchie JT (2003) The DSSAT cropping system model. ***European journal of agronomy*** 18(3-4): 235-265.
- Ketring DL (1991) Physiology of oil seeds: IX. Effects of water deficit on peanut seed quality. ***Crop Science*** 31(2): 459-463.
- Lima Filho AF, Coelho Filho MA, Heinemann AB (2013) Calibração e avaliação do modelo CROPGRO para a cultura do feijão caupi no Recôncavo Baiano. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*** 17:1286-1293.
- Lima TM, Assunção HF (2016) Uso do modelo CSM-Cropgro/Peanut na estimativa da produtividade do amendoim cultivado em duas épocas em Jataí-Go. ***Irriga*** 1(1):40-40.
- Liu HL, Yang JY, Tan CS, Drury CF, Reynolds WD, Zhang TQ, Hoogenboom G (2011) Simulating water content, crop yield and nitrate-N loss under free and controlled tile drainage with subsurface irrigation using the DSSAT model. ***Agricultural Water Management*** 98(6):1105-1111.
- Lopez JR, Winter JM, Elliott J, Ruane AC, Porter C, Hoogenboom G (2017) Integrating growth stage deficit irrigation into a process-based crop model. ***Agricultural and Forest Meteorology*** 243:84-92.
- Mensegue HV, Caviglia OP, Degioanni A, Marcos J, Bonadeo E (2021) Calibration and validation of soil water balance (SWB) model in the Inner Argentinian Pampas. ***Computers and Electronics in Agriculture*** 181:105892.
- Moreto VB, Rolim GDS (2015) Agrometeorological models for groundnut crop yield forecasting in the Jaboticabal, São Paulo State region, Brazil. ***Acta Scientiarum Agronomy*** 37:403-410.
- Narh S, Boote KJ, Naab JB, Jones JW, Tillman B, Abudulai M, Jordan DL (2015) Genetic Improvement of Peanut Cultivars for West Africa Evaluated with the CSM-CROPGRO-Peanut Model. ***Agronomy Journal*** 107(6): 2213-2229.
- Nataraja G (2020). Peanut production through innovative water management strategies. ***Indian Journal of Science and Technology*** 13(17):1764-1777.
- Patrignani A, Ochsner TE (2015) Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. ***Agronomy Journal*** 107(6):2312-2320.
- Pereira JWL, Albuquerque MB, Melo Filho PA, Nogueira RJMC, de Lima LM, Santos RC (2016) Assessment of drought tolerance of peanut cultivars based on physiological and yield traits in a semiarid environment. ***Agricultural Water Management*** 166:70-76.

Re MIZ, Rath S, Dukes, MD, Graham W (2020) Water and nitrogen budget dynamics for a maize-peanut rotation in Florida. **Transactions of the ASABE** 63(6):2003-2020.

Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M (2004) Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of plant physiology** 161(11):1189-1202.

Santos MG, Boote KJ, Faria RT, Hoogenboom G (2019). Simulation of productivity and soil moisture under Marandu palisade grass using the CSM-CROPGRO-Perennial Forage model. **Crop and Pasture Science** 70(2):159-168.

Sezen S M, Ahmad I, Habib-ur-Rahman M, Amiri E, Tekin S, Oz KC, Maambo CM (2022) Growth and productivity assessments of peanut under different irrigation water management practices using CSM-CROPGRO-Peanut model in Eastern Mediterranean of Turkey. **Environmental Science and Pollution Research** 29(18): 26936-26949.

Soil survey staff. Soil taxonomy. 12th ed. Washington DC: USDANRCS, Washington DC, USA, 2014.

Soler C MT, Suleiman A, Anothai J, Flitcroft I, Hoogenboom G (2013) Scheduling irrigation with a dynamic crop growth model and determining the relation between simulated drought stress and yield for peanut. **Irrigation Science** 31(5):889-901.

Sousa GG, de Azevedo BM, Lima RH, da Silva JE, de Araújo Viana TV (2014) Growth and yield of peanut with different irrigation levels applied by drip irrigation. **Irriga** 19(2): 186-195.

Suriharn B, Patanothai A, Pannangpetch K, Jogloy S, Hoogenboom G (2007) Determination of cultivar coefficients of peanut lines for breeding applications of the CSM-CROPGRO-Peanut model. **Crop science** 47(2):607-619.

Thangthong N, Jogloy S, Jongrungklang N, Kvien CK, Pensuk V, Kesmala T, Vorasoot, N (2018) Root distribution patterns of peanut genotypes with different drought resistance levels under early-season drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 204(2):111-122.

Willmott CJ, Ackleson SG, Davis RE, Feddema JJ, Klink KM, Legates DR, Rowe CM (1985) Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans** 90(C5):8995-9005.

### **CAPÍTULO 3 - Risco de decréscimo de produtividade devido ao estresse hídrico e retorno financeiro do cultivo de amendoim no Sudeste do Brasil**

**RESUMO** - O amendoineiro cultivado sob estresse ambiental apresenta crescimento reduzido e, conseqüentemente, menor produtividade e renda líquida, comprometendo a viabilidade da exploração agrícola. Objetivou-se, com este trabalho, determinar riscos de decréscimos de produtividade devido ao estresse hídrico e retorno financeiro de cultivos de amendoim em Jaboticabal - SP. O modelo CSM-CROPGRO-Peanut foi utilizado para simular o desenvolvimento de cultivos semeados de janeiro a dezembro de 2006 a 2020, sob manejo não irrigado e com irrigação. A renda líquida foi calculada pelo produto da produtividade simulada e o valor da *commodity*, em cenários de preço baixo (R\$ 37,04), médio (R\$ 42,82) e alto (R\$ 53,93), subtraída do custo de produção.

Em cultivos não irrigados, na primeira safra, a semeadura em novembro e dezembro resultou em maior produtividade média (5.350 kg ha<sup>-1</sup> e 5.067 kg ha<sup>-1</sup>) e rendas líquidas médias (2.649,00 a 3.866,00 R\$ ha<sup>-1</sup>), que decresceram com a antecipação para setembro. Na segunda safra, a semeadura em janeiro apresentou maior produtividade (4.331 kg ha<sup>-1</sup>) e renda líquida (555 a R\$ 3.480,00 R\$ha<sup>-1</sup>), que decresceram nas épocas subseqüentes, devido à deficiência hídrica e temperaturas subótimas. Sob irrigação, na primeira safra não houve incremento de produtividade na maioria das épocas de semeadura, em relação aos cultivos não irrigados, com renda líquida menor devido ao custo do sistema de irrigação. Na segunda safra, a irrigação proporcionou maior estabilidade da produção, aumento de produtividade e de renda líquida a partir de fevereiro, em relação aos cultivos não irrigados. Concluiu-se que as semeaduras em novembro, na primeira safra, e em janeiro, na segunda safra, oferecem menores riscos de perdas na produção por apresentar maior média e menores variâncias da produtividade entre as épocas de semeadura simulada em sequeiro e irrigado.

**Palavras-chave:** DSSAT, Simulação, *Arachis hypogaea*

### **CHAPTER 3 - Climate risk and economic viability of peanut in the Southeast region of Brazil**

**ABSTRACT** – Peanut cultivated under environmental stress show reduced growth and, consequently, lower productivity and net income, compromising the viability of the agricultural exploitation. The objective of this work was to determine the risks of productivity decreases due to water stress and financial return of peanut crops in Sao Paulo State, Brazil. The CSM-CROPGRO-Peanut model was used to simulate the development of crops sowing from January to December, from 2006 to 2020, under non-irrigated and irrigated management. Net income was calculated by the product of simulated productivity and the value of the commodity, considering low (R\$ 37.04), medium (R\$ 42.82) and high (R\$ 53.93) price scenarios, subtracted from the production cost. In non-irrigated crops, in the first crop season, sowing in November and December resulted in higher productivity (5,350 kg ha<sup>-1</sup> and 5,067 kg ha<sup>-1</sup>) and net income (R\$ 2,649.00 to R\$ 3,866.00 ha<sup>-1</sup>), which decreased with anticipation to September. In the second crop season, sowing in January gave higher productivity

(4,331 kg ha<sup>-1</sup>) and net income (R\$ 555 to R\$ 3,480.00 ha<sup>-1</sup>), which decreased in subsequent seasons, due to higher irrigation applications and sub-optimum temperatures. For irrigated crops, in the first crop season there was no productivity increase in most sowing times, with lower net income due to the cost of the irrigation system. In the second crop season, irrigation provided lower variation in crop productivity over the years and higher productivity and net income from February onwards, in relation to non-irrigated crops. It was concluded that sowing in November, in the first crop season, and in January, in the second crop season, offer lower risks of production losses because they present higher average and lower productivity variances between the simulated rainfed and irrigated sowing times.

**Keywords:** DSSAT, Seasonality, *Arachis hypogaea*

## 1. INTRODUÇÃO

O estado de São Paulo é considerado o maior produtor de amendoim do Brasil, sendo a maior área de cultivo concentrada no nordeste do estado, na região de Ribeirão Preto (Alta Paulista). Nessa região, o cultivo do amendoim é realizado em áreas de reforma de canaviais em sucessão ou rotação de culturas (Barbosa et al., 2014, Santos et al., 2021). A época de semeadura coincide com o início das chuvas na região e, por esta ocasião, a primeira safra (safra das águas) ocorre de outubro a dezembro e segunda safra (safrinha) de janeiro a março (Conab, 2020).

O cultivo do amendoimzeiro em épocas inapropriadas está sujeito à redução da produtividade e qualidade das vagens, devido aos efeitos dos estresses ambientais. Nestas condições, há risco de insucesso do cultivo, visto que, a produção é comercializada por cooperativas ou diretamente aos cerealistas que avaliam a qualidade do produto e fixam os preços. Além disso, o preço do amendoim depende da sazonalidade do mercado (Silva et al., 2020).

A escolha do período de semeadura depende de um conjunto de fatores ambientais que afetam o crescimento e o desenvolvimento da planta, tais como a disponibilidade hídrica, térmica e energética (Peixoto et al., 2008; Banik et al., 2009). Se condições de temperatura e radiação solar forem adequadas e o sistema de produção for em sequeiro, a semeadura deve ser realizada em períodos com menor ocorrência de deficiência hídrica. A escolha de épocas de semeadura baseada em condições meteorológicas possibilita aumentar a produtividade e diminuir a variabilidade da produção (Thorburn et al., 2018, Heinemann et al., 2016; Ahmad et al., 2016).

Sob condições ambientais inadequadas, ocorre crescimento reduzido e, conseqüentemente, menor produtividade, qualidade do produto e renda líquida ao produtor, comprometendo a viabilidade da exploração agrícola. A variabilidade espacial e temporal da deficiência hídrica, provocado pela escassez de chuvas, acarreta reduções que variam entre 25 e 30% na produtividade da cultura, dependendo da cultivar (Carrega, 2017). Aydinsakir et al. (2016), avaliando estratégias de irrigação em amendoineiro, observou que o estresse hídrico reduz o crescimento das plantas, o número e a massa de sementes, culminando na redução da produtividade. O estresse hídrico também diminuiu significativamente o conteúdo de ácido linoleico, proteína e óleo, embora tenha aumentado o ácido oleico. O fator térmico resulta em estresse à cultura do amendoim, particularmente sob temperaturas sub-ótimas, inferiores a 20°C, resultando em redução do número de vagens e peso de vagens, e grãos e inviabilidade dos ginóforos (Coelho et al., 2017).

O manejo da cultura interfere na produtividade e está atrelado principalmente ao nível tecnológico da propriedade rural. Dentre as práticas de manejo de cultivos, a definição de épocas da semeadura e a resposta à suplementação hídrica pela irrigação são realizadas pela condução de experimentos nas regiões de interesse. No entanto, estes experimentos demandam muito tempo e são afetados pela variabilidade climática interanual, o que interferem nos resultados. Neste contexto, modelos de simulação de crescimento de cultivos, previamente calibrados e validados para o cultivo de interesse, são adequados para a determinação de períodos de semeadura e aplicação de irrigação que otimizem os recursos naturais e insumos agrícolas em diversas culturas como milho, sorgo e milheto (Ahmad et al., 2016), soja (Suarez et al., 2018) e trigo (Andarzian et al., 2015).

O Sistema de Suporte à Tomada de Decisão e Transferência de Agrotecnologia (DSSAT) permite a simulação do crescimento e desenvolvimento de cultivos em diferentes épocas de semeadura, utilizando como entrada dados climáticos e características de solo e de cultivar da região de interesse (Hoogenboom, et al., 2019; Jones et al., 2016). Possibilitam simulações ao longo dos anos para considerar o efeito de determinada(s) prática(s) de manejo da cultura sob a variabilidade climática da região na produtividade da cultura, reduzindo a especificidade espaço-temporal envolvida em experimentos pontuais.

O modelo CSM – CROPGRO – Peanut (Boote et al., 1998), incluso no sistema DSSAT é orientado a processos e simula o crescimento e desenvolvimento da cultura em passos de cálculo diários, considerando os balanços de carbono, nitrogênio e água. Após calibrado e comprovado a sua capacidade em simular com precisão o crescimento de cultivos em campo, o modelo pode ser usado para estimar perdas de produção em função da época de semeadura e tipo de solo (Lima et al., 2016); escolha da melhor época de semeadura e nível de adubação fosfatada da cultura (Halder et al., 2017), definição do turno de rega e lâminas de irrigação (Soler et al., 2013; Amiri et al., 2015)); impacto das mudanças climáticas na produtividade do amendoim (Boote et al., 2018), entre outras aplicações.

O módulo de análise sazonal do sistema DSSAT permite avaliar, em escala de tempo menor do que experimentos convencionais, o efeito da variabilidade climática interanual e estratégias de manejos sob o rendimento da cultura do amendoim. Possibilitando estimar a probabilidade da produção da cultura com em diferentes épocas de semeadura em sequeiro ou sob irrigação e sua receita líquida.

Diante do exposto, objetivou-se, com este trabalho, determinar a produtividade e renda líquida de cultivos de amendoim sob condições de sequeiro e irrigado, semeados mensalmente ao longo do ano, durante o período de dados meteorológicos históricos do local (2006 a 2020), visando estimar os riscos de decréscimos de produtividade e de retorno financeiro devido ao estresse hídrico em cultivo de amendoim em Jaboticabal - SP.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 O modelo CSM- CROPGRO-Peanut**

As simulações foram realizadas com o modelo CSM – CROPGRO – Peanut incluído no sistema DSSAT, versão 4.7.5.0. (Hoogenboom et al., 2019). Boote et al. (1998) descreve detalhadamente a estrutura e os métodos utilizados pelo modelo para simular o crescimento e desenvolvimento da cultura.

Em resumo, o modelo CSM – CROPGRO – Peanut é um modelo mecanicista e determinístico que simula o crescimento do amendoim em passos de cálculo diários, baseado na variação do armazenamento de água em cada camada do perfil

do solo, balanço de carbono e nitrogênio no solo. O balanço de carbono inclui interceptação da luz pelo dossel, a assimilação de C da atmosfera e absorção da água do solo para a síntese de fotoassimilados, seguida da conversão de carbono (C) em tecidos da cultura e consequentes perdas de C devido a respiração de crescimento e manutenção. O balanço de nitrogênio considera a absorção diária de N do solo ou pela simbiose, mobilização interna na planta e reutilização da perda de N em abscisões das folhas. O balanço hídrico inclui os processos de entrada e saída de água do perfil de solo, dados pela infiltração de água da chuva e irrigação, evaporação da água do solo, absorção de água pela raiz, drenagem de água através da zona efetiva da raiz, transpiração da cultura e escoamento superficial (Boote et al., 1986; Boote et al., 1998).

O modelo requer dados de características de solo, da planta e do clima como dados de entradas (*inputs*) para simular as interações das cultivares com o sistema solo – planta – atmosfera. Os dados climáticos de entrada requeridos são: chuva, temperatura máxima e mínima e radiação solar. Os dados de entrada de solo são: espessura da camada de solo, umidade na capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente, umidade na saturação e a condutividade hidráulica do solo. Os dados da cultura incluem parâmetros que descrevem a interação do genótipo com o ambiente, denominados coeficientes genéticos, calibrados com a cultivar de interesse.

Em um arquivo denominado arquivo X, o usuário especifica as condições de cada simulação, incluindo o solo, clima do local, a cultivar, espaçamento, adubação, data de semeadura, período da simulação, irrigação e demais práticas de manejo. Os resultados das simulações possibilitam determinar a produtividade e componentes de produção dos cultivos em um ano específico ou a sua variabilidade ao longo dos anos, com a análise sazonal. Com esta análise é possível obter a produtividade e renda líquida do cultivo, para análise da viabilidade econômica da atividade.

## **2.2 Parametrização do modelo CSM- CROPGRO-Peanut**

### **2.2.1 Cultivar**

Nesta pesquisa, consideraram-se as cultivares IAC 503 e IAC 505, do tipo Runner, de ciclo longo com crescimento indeterminado de 130 a 140 dias com

produtividade média de 4.500 kg ha<sup>-1</sup> e máxima de 6.500 kg ha<sup>-1</sup>, hábito de crescimento rasteiro, com característica alto oleico com seus grãos apresentando 70 a 80% de ácidos oleico (Godoy et al., 2017). Os coeficientes genéticos destas cultivares utilizados como entrada no modelo CSM – CROPGRO – Peanut foram calibrados previamente (Tabela 1), utilizando dados de quatro experimentos de campo, conduzidos sob irrigação plena, em duas épocas de semeadura em 2018 (fevereiro e março) por França (2021), e em uma época de semeadura (março) em 2019 e 2020 por Bertino et al. (2022).

Tabela 1. Coeficientes genéticos calibrados para as cultivares IAC 503 e IAC 505<sup>1</sup>

Coeficientes genéticos de desenvolvimento <sup>2</sup>								
PPSEN	CSDL	EMFL	FLSH	FLSD	SDPM	FLLF	PODUR	SFDUR
0	11,84	23,00	9,10	31,8	31,50	50,00	12,00	30,00

Coeficientes genéticos de crescimento <sup>3</sup>								
LFMAX	SLAVR	SIZLF	XFRT	WTPSD	SDPDV	THRSH	SDPRO	SDLIP
1.16	240,00	13,00	0,89	0,584	1,81	70,00	0,27	0,51

Coeficientes genéticos de ecótipo <sup>4</sup>	
RWDTH	HGHT
0,8	0,5

Coeficientes do crescimento da raiz	
Profundidade (cm)	Coef R
0-20	1,00
20-40	0,54
40-60	0,36
60-80	0,25
80-100	0,17

<sup>1</sup>Cazuza Neto (2022); <sup>2</sup>CSDL - Comprimento crítico de dia curto, abaixo do qual o desenvolvimento reprodutivo progride sem efeito do comprimento do dia, PPSen - Sensibilidade do desenvolvimento para fotoperíodo, EMFL - emergência e florescimento, FLSH - primeira flor e primeira vagem, FLSD - primeira flor e primeira semente, SDPM - primeira semente e maturação fisiológica, FLLF - primeira flor e fim da expansão de folha; <sup>3</sup>LFMAX - taxa máxima de fotossíntese de folhas a 30°C, 350 ppm CO<sub>2</sub>, e alta luminosidade (mg CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>); SLAVR - área foliar específica da cultivar sob condições padrões de crescimento (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); SIZLF - tamanho máximo de folha completa (folha trifoliada) (cm<sup>2</sup>); XFRT - fração máxima do crescimento diário que é repartido para semente + vagem; WTPSD - massa máxima de sementes (g); SFDUR - duração de enchimento de grãos para condições padrões de crescimento (dias fototérmicos); SDPDV - média de grãos por vagem sob condições padrões de crescimento; PODUR - tempo requerido para a cultivar atingir o enchimento de vagens sob condições padrões ótimas (dias fototérmicos), THRSH - taxa máxima de produção de sementes em relação a produção de vagem até a maturação fisiológica [100\*semente/(semente+casca), SDPRO – fração de proteína na semente, SDLIP- fração de óleo na semente; <sup>4</sup>RWDTH – largura do dossel relativa em comparação com a cultivar padrão e HGHT - altura relativa em comparação com a cultivar padrão.

### 2.2.2 Clima e solo

As simulações visaram representar a maior área produtora de amendoim do Brasil, localizada na região nordeste do estado de São Paulo. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região, é do tipo AW, subtropical úmido, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos amenos e secos com temperatura média anual de 22°C, precipitação anual de 1.425 mm (Alvares et al., 2013). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (Embrapa, 2016) ou Oxisol (Soil Survey Staff, 2014), muito argiloso, profundo, com relevo plano e alta fertilidade, cujas características físicas e químicas são apresentadas nas Tabelas 2.

O arquivo de solos requerido nas simulações foi criado e importado para o sistema DSSAT utilizando o aplicativo Sbuild v4.7.5 para incluir dados de textura e retenção de água no solo (umidades na saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente) da área experimental da FCAV – UNESP.

Tabela 2. Características físico-hídricas do solo do local do experimento<sup>1</sup>

Profundidade (cm)	Argila (%)	Silte (%)	CO (%)	$\theta_{cc}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_{pmp}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_{sat}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0-20	50,5	26,9	2,9	0.455	0.235	0.538
20-40	53,6	26,6	2,0	0.408	0.225	0.518
40-60	56,2	24,6	1,5	0.380	0.222	0.506
60-80	60,0	19,0	1,2	0.393	0.234	0.497
80-100	54,0	25,4	1,2	0.457	0.246	0.497

<sup>1</sup> Carbono orgânico (CO), Umidades na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ), no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ) e na saturação ( $\theta_{sat}$ ). Fonte: Adaptado de Santos et al. (2019).

Os dados meteorológicos (temperatura máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento) utilizados como entrada nas simulações constituíram a série histórica de 2006 a 2020 de Jaboticabal, SP, oriunda da Estação Climatológica da FCAV/UNESP (latitude 21°14' S, longitude 48°17' O e altitude 570 m), localizada a 1 km da área experimental. Os dados foram importados para o banco de dados do DSSAT e formatados conforme requerido pelo sistema, utilizando o aplicativo WeatherMan.

### 2.2.3 Produtividades simuladas

Foram simulados mensalmente cenários de produtividade sem irrigação e sob irrigação, com semeadura no 15° dia de outubro a dezembro (1° safra) e no 15° dia de janeiro a abril (2° safra), durante o período de outubro de 2006 a dezembro de 2020.

Para estimar a umidade do solo na semeadura em cada época, as simulações foram iniciadas dois meses antes, assumindo-se cana-de-açúcar como cultura antecedente, incorporando-se 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de resíduo dessa cultura a 10 cm de profundidade, no perfil do solo com 50% de água disponível. Como critério de sucesso de estabelecimento da cultura em cada época de semeadura, assumiu-se o requerimento do solo estar com umidade acima de 80% da água disponível (AD) na camada 0 - 10 cm, durante a janela de semeadura de 15 dias, 7 dias antes a 7 dias depois da data de semeadura preconizada. Como exemplo, para semeadura em 15 de fevereiro, a janela de semeadura iniciava-se no dia 8 e terminava no dia 22, ocorrendo a semeadura no primeiro dia em que o critério de umidade (>80% da AD)

fosse atendido, e perda da semeadura (produtividade nula) quando esse critério não era alcançado.

Para o cenário sob irrigação, as simulações iniciaram-se nas datas de semeadura preconizadas ao longo do ano (dia 15 de cada mês), assumindo-se o solo na camada 0-10 cm na capacidade de campo, proporcionada pela irrigação efetuada no dia da semeadura. Foram avaliadas as estratégias de irrigação pelo do módulo de irrigação automática incluso no sistema DSSAT em que as irrigações são realizadas conforme a depleção de água no solo preconizada pelo usuário. Às aplicações de irrigação ocorreram após a depleção da água disponível de 10%, 30%, 50%, 70% e 90% na camada 0-40 cm, repondo-se o solo ao armazenamento de capacidade de campo. Considerou-se que a água era aplicada de forma instantânea e uniforme por um sistema de irrigação por pivô central com 85% de eficiência de aplicação de água e que a água não era um recurso limitado.

### 2.3 Retorno financeiro

A renda líquida foi calculada pela Equação 1, conforme o procedimento de cálculo descrito por Faria et al. (1997), complementado por (Justino et al., 2019):

$$RL = RB - C_p \quad (1)$$

em que RL é renda líquida (R\$ ha<sup>-1</sup>), RB é renda bruta (R\$ ha<sup>-1</sup>) e C<sub>p</sub> é custo de produção médio (R\$ ha<sup>-1</sup>), sendo RB em cada época de semeadura e ano de cultivo calculada pela seguinte equação:

$$RB = Pr PY \quad (2)$$

na qual Pr é preço de amendoim em casca (R\$ kg<sup>-1</sup>) e PY é a produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) simulada pelo modelo.

O custo o de produção (C<sub>p</sub>) é calculado pela soma entre o custo operacional (C<sub>o</sub>) e o custo de irrigação (C<sub>i</sub>):

$$C_p = C_o + F C_i \quad (3)$$

em que F é um fator igual a zero para sistemas não irrigados e igual à unidade em sistemas irrigados, e

$$C_i = C_F + C_W D \quad (4)$$

sendo CF custo fixo do sistema de irrigação, (R\$ ha<sup>-1</sup>) estimado por

$$CF = C_d + C_j + C_s + Man + MO + CC \quad (5)$$

correspondentes aos custos de depreciação (Cd), juros (Cj), seguro (Cs), manutenção (Man), mão - de - obra (MO) e cota-consumo de energia (CC) (todos em R\$ ha<sup>-1</sup>). Na equação 4, D é a lâmina de irrigação aplicada durante o ciclo de cultivo (mm) e Cw é custo para aplicar a lâmina unitária de irrigação (R\$ mm<sup>-1</sup>), calculado conforme a seguinte relação:

$$C_w = \frac{Pot \ Tir \ Pe}{A \ LB} \quad (6)$$

na qual Pot é potência do sistema (KWh), Tir é tempo de irrigação diário (h) Pe é a tarifa de energia elétrica (R\$ KW<sup>-1</sup>), A é área irrigada (ha) e LB é lâmina bruta aplicada (mm).

O preço de amendoim utilizado na Equação 2 correspondeu aos valores recebidos pelos produtores da região de Jaboticabal (Iea, 2020), deflacionados para o ano de 2020 (Figura 1). Para contemplar a variação de preço do produto, uma função de probabilidade acumulada do preço da commodity foi obtida organizando-se os preços históricos de amendoim em ordem crescente (Figura 2). Dessa função de probabilidade foram estabelecidos três cenários de preços do produto: baixo, médio e alto, correspondentes às probabilidades de 25%, 50% e 75% de ocorrência dos preços na série histórica, correspondentes a 1,66 R\$ kg<sup>-1</sup>, 1,82 R\$ kg<sup>-1</sup>, 2,20 R\$ kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 2).

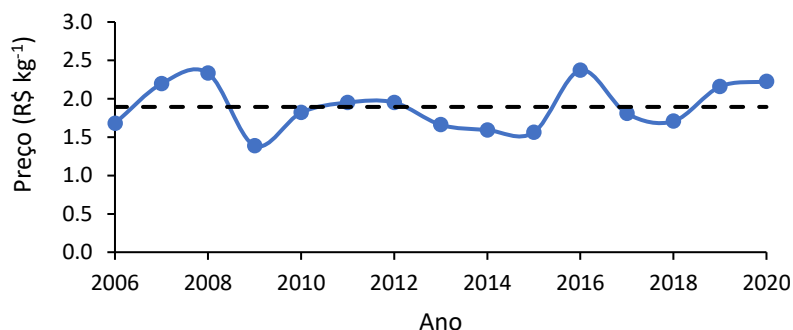


Figura 1. Preços históricos médios deflacionados no período de 2006 a 2020 do amendoim recebidos pelos agricultores da região de Jaboticabal. Fonte: IEA

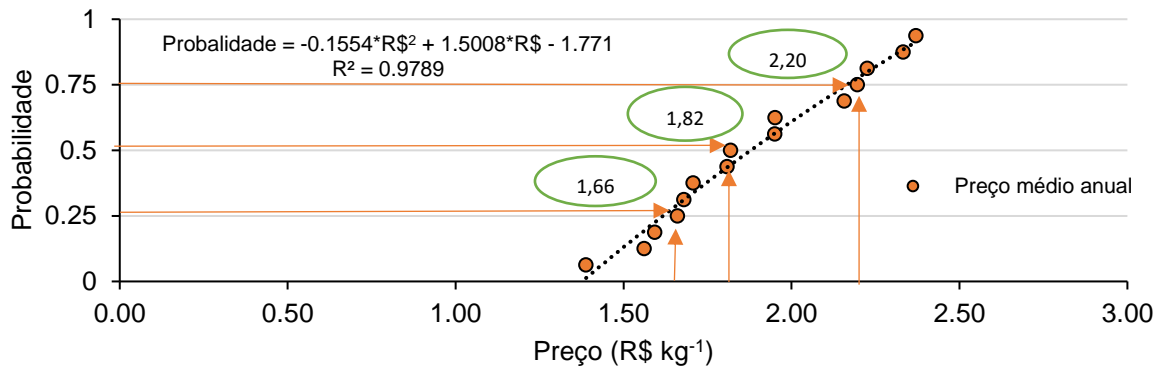


Figura 2. Função de probabilidade acumulada do preço médio anual do amendoim em casca recebidos pelos agricultores da região de Jaboticabal, SP, no período de 2006 a 2020.

O custo fixo de implantação do sistema de irrigação foi de R\$ 10.592,00 ha<sup>-1</sup> (R\$ 635.520,00 para área total de 60 ha), obtido em revendas de Pivô central na região de estudo. A depreciação do equipamento de irrigação no ciclo da cultura (4 meses) foi considerada ao longo da vida útil do equipamento de 30 anos, obtido pela equação 7. O valor de sucata do equipamento considerado foi de 20% do valor do investimento inicial:

$$Dp = \frac{C-R}{n} \quad (7)$$

na qual Dp - depreciação anual, C – Capital investido no equipamento novo, R - valor de sucata e n – Vida útil do equipamento.

Outro fator considerado no custo fixo Cf, o custo de oportunidade no ciclo da cultura, caso o dinheiro investido na compra do sistema de irrigação fosse usado em outro projeto com taxa de juros de 12% a.a, obtido pela equação 8:

$$CO = \frac{C-R}{2} \times i \quad (8)$$

na qual, CO – custo de oportunidade (R\$ ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>), C – Capital investido no equipamento novo, i – taxa de juros e n – Vida útil do equipamento.

O custo fixo da irrigação (C<sub>F</sub>) foi de R\$ 348,36 ha<sup>-1</sup>, considerando valores da depreciação do sistema e o custo de oportunidade com as equações acima citadas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Simulações sob cenário sem irrigação

Nas simulações com a cultura não irrigada na primeira safra, as sementeiras em novembro e dezembro resultam nas maiores produtividades médias ( $5.350 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $5.067 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente), seguidas pela sementeira em outubro ( $4.680 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Figura 3). A antecipação da sementeira para setembro resulta em redução da produtividade ( $2.603 \text{ kg ha}^{-1}$ ), devido ao insucesso de estabelecimento da cultura em 53% dos anos da simulação, por não preencher o critério de disponibilidade hídrica maior que 80% na camada de 0 a 10 cm.

A estreita amplitude do *boxplot* das produtividades dos cultivos sementeiros de outubro a dezembro indica baixa variabilidade da produtividade ao longo dos anos da série histórica, que se deve ao suprimento hídrico adequado (Figura 3). Em contrapartida, ocorre maior variabilidade da produtividade na sementeira em setembro, que pode ser atribuída, principalmente, à menor precipitação e sua variabilidade interanual e, em menor grau, às ocorrências de temperatura que não atendem exigências térmicas da cultura e radiação solar, afetando o estabelecimento da cultura e seu crescimento na fase inicial.

Durante o período simulado, a precipitação média acumulada no cultivo sementeiro em setembro é 378 mm e, em 25% dos anos, menor que 200 mm (Figura 4). Nos cultivos sementeiros de outubro a dezembro, a precipitação é maior que 600 mm em 75% do período simulado. Considerando a evapotranspiração da cultura de 309, 525, 654 e 719 mm para as sementeiras de setembro a dezembro, respectivamente, pode-se afirmar que apenas o cultivo de setembro apresenta limitação hídrica, visto que o amendoazeiro demanda de cerca de 500 mm para completar o seu ciclo (Ketring, 1991).

Na segunda safra, a maior média ( $4.330 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e menor amplitude de variação ( $3.971$  a  $4.774 \text{ kg ha}^{-1}$ ) para os percentis 25 e 75%, respectivamente, foi estimada para a sementeira de janeiro (Figura 3). À medida que se atrasa a sementeira, de fevereiro a abril, há redução da produtividade de 21, 46 e 74%, respectivamente. A redução de produtividade está ligada principalmente, à menor precipitação ocorridas no período e sua variabilidade e, em menor grau, ao decréscimo de temperatura e radiação solar no final do ciclo da segunda safra.

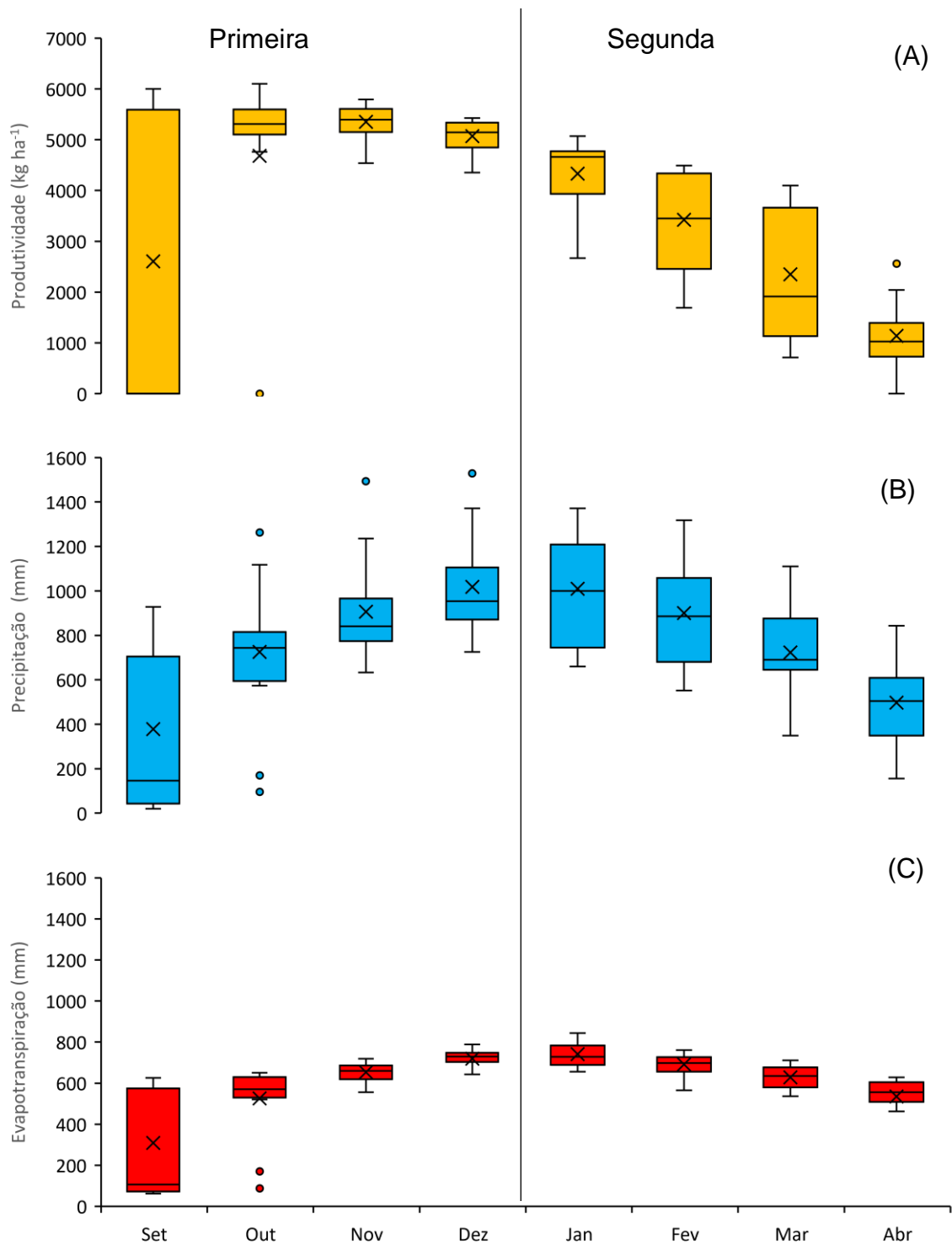


Figura 3. Produtividade de amendoim (A), precipitação (B) e evapotranspiração (C) simuladas pelo modelo CSM-CROPGRO-Peanut em cultivos de amendoimzeiro em sequeiro semeados na primeira e segunda safras, de 2006 a 2020, em Jaboticabal – SP.

### 3.2 Simulações sob cenário irrigado

Em cenário irrigado na primeira safra, as maiores produtividades e menores variâncias são obtidas nos meses de outubro e novembro sob manejo de irrigação 30 a 90% AD (Figura 4). As produtividades simuladas para os percentis 25%, 50% e 75% são de 5.320 a 5.309 kg ha<sup>-1</sup>, 5.577 a 5.632 kg ha<sup>-1</sup>, 5.684 a 5.903 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Somente a simulação com semeadura em setembro, com manejo de irrigação 10%AD apresenta produtividade média consideravelmente mais baixa (4.817 kg ha<sup>-1</sup>), em comparação com as demais épocas e manejos de irrigação. Ligeira redução de produtividade da cultura foram simuladas no manejo de irrigação 10%AD e nas épocas de semeadura de dezembro (4.905 a 5.422 kg ha<sup>-1</sup>), independentemente do manejo de irrigação. Portanto, com manejos com maior lâmina de irrigação (30 - 90%AD) a variação da produtividade foi menor que em relação ao manejo com menor 10%AD.

À medida que atrasou a semeadura no mês de setembro houve o aumento da lâmina de irrigação aplicada, devido as menores precipitações no ciclo da cultura. Com a reposição da água no solo com 10% AD houve aplicação das menores lâminas associadas as menores produtividades, no entanto, houve o sucesso da semeadura com produtividade média de 4.817 kg ha<sup>-1</sup> com aplicação de 73 mm.

Com a reposição da água no solo com 30 – 90% AD houve o aumento da lâmina de irrigação à medida que se aumentou o percentual de água disponível no solo para reposição de água, no entanto a produtividade não seguiu o aumento proporcional conforme as lâminas de irrigação, visto que a produtividade com reposição de 30% AD não se diferencia das demais lâminas simuladas.

No mês de outubro as lâminas de irrigação aplicadas com 30% AD foram de 0, 63 e 136 mm em 25, 50 e 75% dos anos da simulação. Portanto, em primeira safra o uso da irrigação reduz o risco de falhas na semeadura e obtenção de elevada produtividade com baixa lâmina de irrigação aplicada.

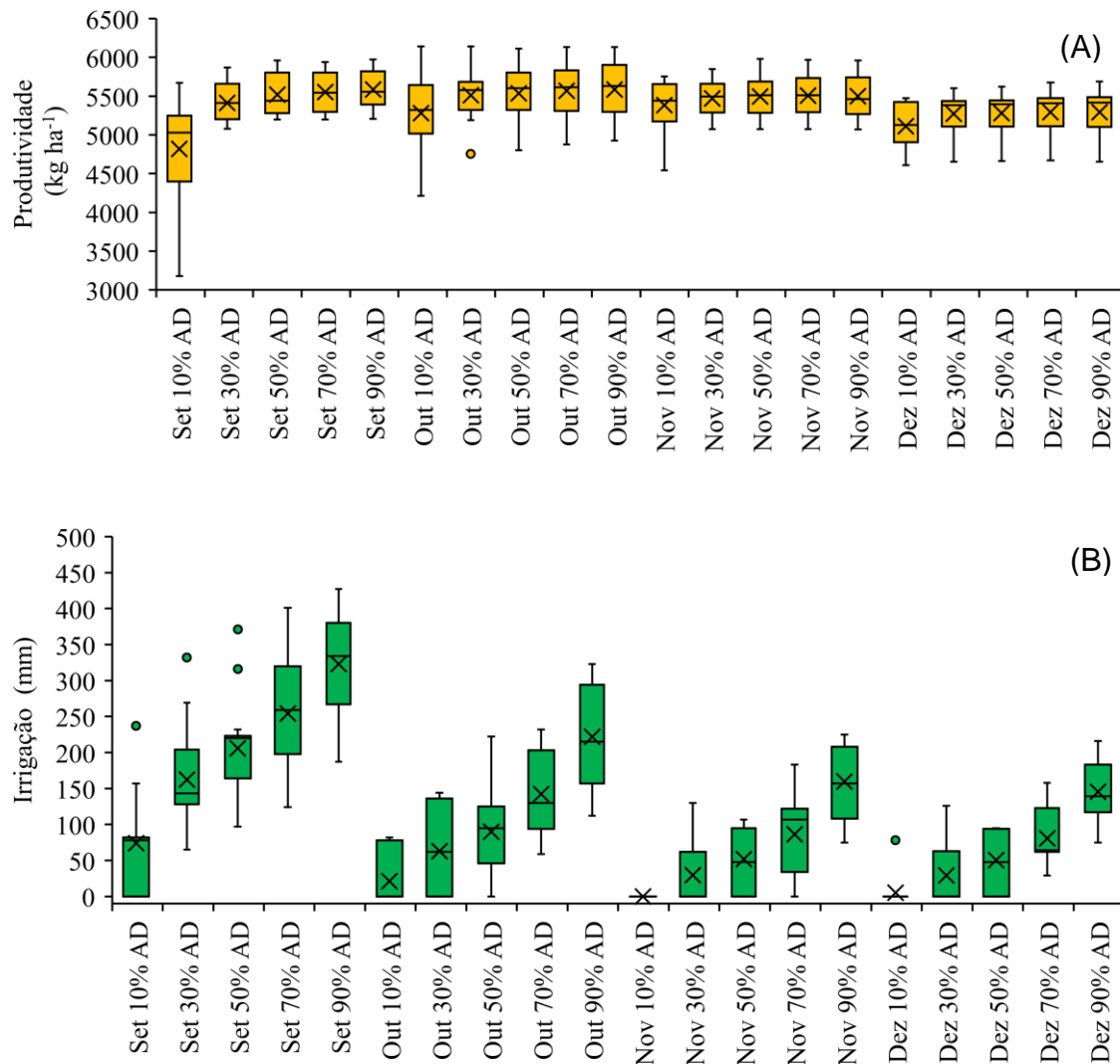


Figura 4. Produtividade de amendoim (A) e irrigação (B) simuladas pelo modelo CSM-CROPGRO-Peanut em cultivos de amendoim sementeiros semeados na primeira e segunda safras sob diferentes níveis de irrigação, de 2006 a 2020, em Jaboticabal – SP.

Na segunda safra os valores médios de rendimento dos diferentes manejos de irrigação (30 – 90 % AD) não apresentaram diferenças significativas ao longo das épocas de simulação em suas respectivas datas de semeadura. Os maiores rendimentos foram obtidos quando a semeadura ocorreu na janela de semeadura do mês de janeiro, apresentando produtividade de 4.719 – 4.729 kg ha<sup>-1</sup>, 5.034 – 5.054 kg ha<sup>-1</sup>, 5.136 – 5.197 kg ha<sup>-1</sup> em 25%, 50% e 75% dos anos da simulação, respectivamente (Figura 5).

O tratamento para iniciar a irrigação quando o solo apresentasse somente 10% AD apresentou rendimentos menores que os demais. À medida que houve o atraso

da semeadura foram simuladas maiores lâminas de irrigação em função do manejo adotado, a lâmina média aplicada foram de 15,6 – 166, 62 – 220, 124 – 279 e 206 – 388 mm para os meses de janeiro a abril com irrigação quando o solo apresentava 10 – 90% AD, respectivamente (Figura 5). Mesmo com o aumento das lâminas de irrigação para mitigar a sazonalidade das precipitações ao longo do ciclo da cultura, houve a redução da produtividade devido a interferência de outros fatores climáticos como a ocorrência de baixas temperaturas no momento do enchimento de vagens e menor disponibilidade de radiação solar.

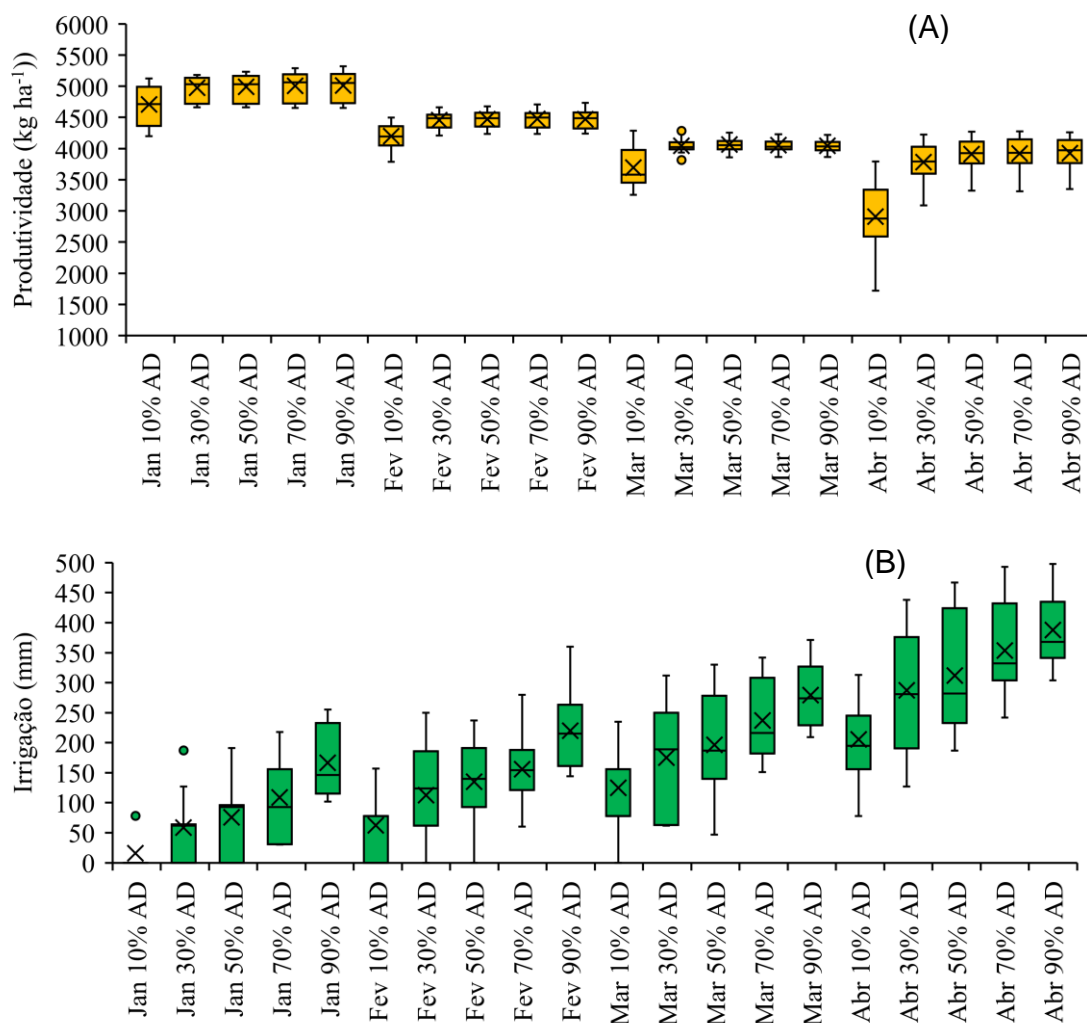


Figura 5. Produtividade simulada sob manejos da irrigação (A) e lâminas acumuladas de irrigação durante o ciclo da cultura (B) em diferentes épocas de semeadura na segunda safra de amendoim em Jaboticabal - SP.

### 3.3 Renda líquida sem irrigação

A renda líquida sem o uso da irrigação seguiu a mesma tendência da produtividade simulada, ou seja, com a antecipação da semeadura em setembro em relação as épocas de maiores rendimentos (outubro a dezembro), há redução da renda líquida, uma vez que os custos de produção foram considerados os mesmos para os diferentes cenários simulados e houve menor produtividade nesta época (Figura 6).

Na semeadura no período entre outubro e dezembro independente do cenário de preço a renda líquida foi positiva. Quando considerado o preço baixo do produto, a renda líquida média foi de R\$ 1.911 ha<sup>-1</sup>, R\$ 2.554 ha<sup>-1</sup> e R\$ 2.554 ha<sup>-1</sup>, em outubro, novembro e dezembro, respectivamente. Quando considerado o preço médio do produto a renda líquida média do período foi de R\$ 2.649ha<sup>-1</sup>, R\$ 3.866 ha<sup>-1</sup>, 3.353 R\$ ha<sup>-1</sup>, em outubro, novembro e dezembro respectivamente. Quando considerado o preço alto do produto a renda líquida média do período foi de R\$ 4.414 R\$ ha<sup>-1</sup>, 5.884 R\$ ha<sup>-1</sup>, 5.265 R\$ ha<sup>-1</sup>, em outubro, novembro e dezembro respectivamente.

Na semeadura de setembro, independentemente do preço, a renda líquida média foi negativa devida as baixas produtividades simuladas pelo modelo CMS – CROPGRO – Peanut.

Na segunda safra, a semeadura em janeiro apresenta maior renda líquida média de 1.330 R\$ ha<sup>-1</sup>, 2.013 R\$ ha<sup>-1</sup>, 3.646 R\$ ha<sup>-1</sup>, para o cenário de preço baixo, médio e alto, respectivamente. Com atraso da semeadura, devido à baixa produtividade a partir de fevereiro, a renda líquida foi negativa para o cenário de preço baixo, muito baixa (R\$ 361 ha<sup>-1</sup>) para preço médio e viável para preços alto (R\$ 1.652 ha<sup>-1</sup>), Figura 6. Nos demais meses de semeadura a renda líquida média foi negativa mesmo com o preço alta do amendoim.

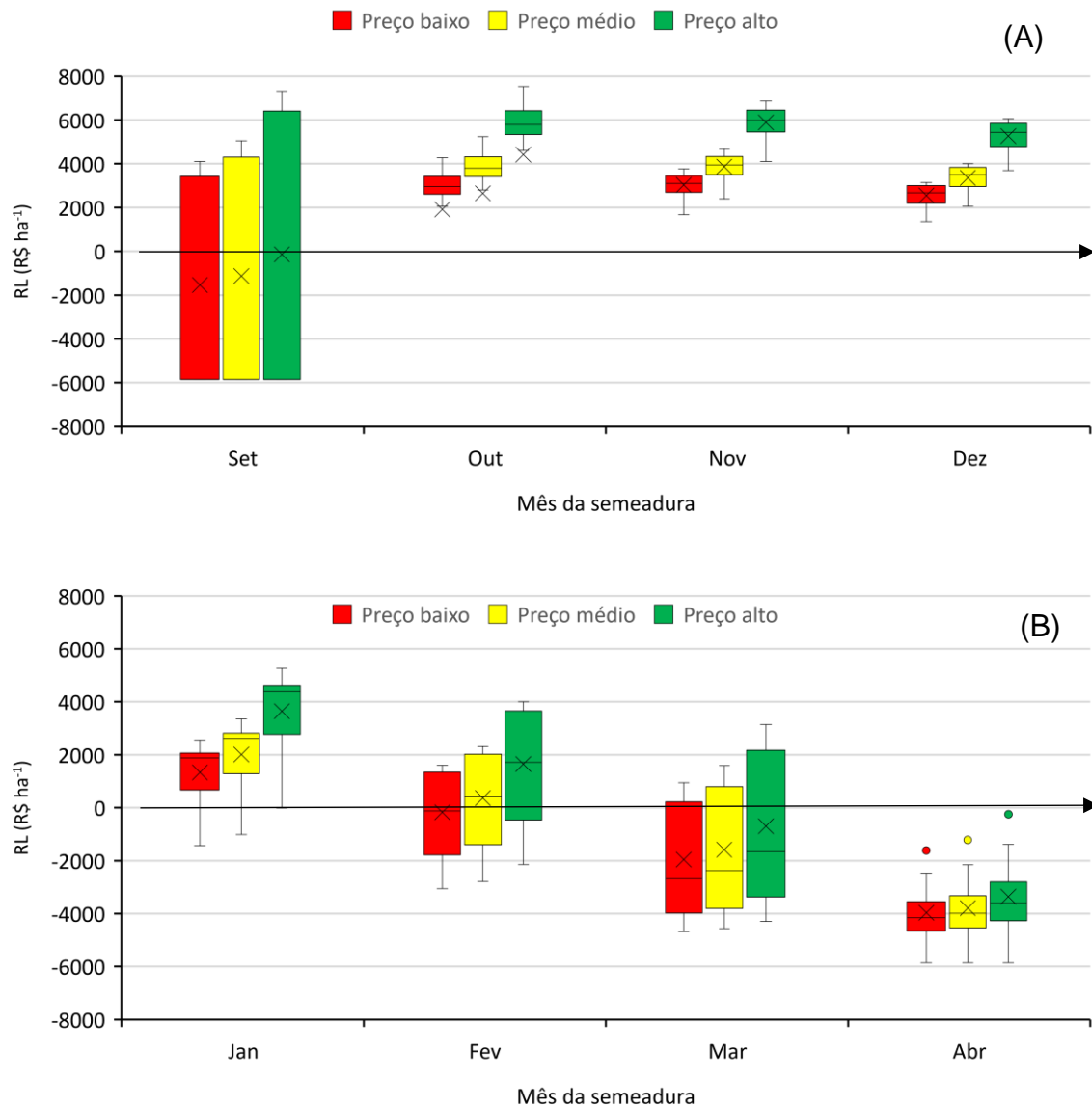


Figura 6. Renda líquida (RL) simulada pelo modelo CSM – CROPGRO – Peanut para cenário sem irrigação em épocas de sementeira de amendoim na primeira (A) e segunda safra (B) em Jaboticabal, de 2006 a 2020, assumindo o cenário de preço baixo, médio e alto do produto.

### 3.4 Renda líquida sob manejos da irrigação

A renda líquida foi positiva na primeira safra, independentemente da época de sementeira e estratégia de irrigação (Figura 7). Na sementeira em outubro e novembro os manejos com reposição de água no solo de 30 a 90%AD proporcionaram maiores rendas líquidas média em relação as demais épocas. A renda líquida no mês de outubro foi de R\$ 2.806 – 2.932 ha<sup>-1</sup>, R\$ 3.674 – 3812 ha<sup>-1</sup>, R\$ 5752 – 5919 ha<sup>-1</sup> e

novembro foi R\$ 2740 – 2790 ha<sup>-1</sup>, R\$ 3602 – 3657 ha<sup>-1</sup>, R\$ 5665 – 5731 ha<sup>-1</sup> para cenários de preço baixo, médio e alto, respectivamente.

Com a reposição quando apresentava 10% AD a renda líquida foi menor em os meses de semeadura. No entanto, no mês de setembro a renda líquida foi positiva reduzindo o risco econômico da atividade em comparação com a semeadura em sequeiro, com renda líquida média de R\$ 1658 ha<sup>-1</sup>, R\$ 2417 ha<sup>-1</sup> e R\$ 4235 ha<sup>-1</sup> com cenário de preço baixo, médio e alto, respectivamente.

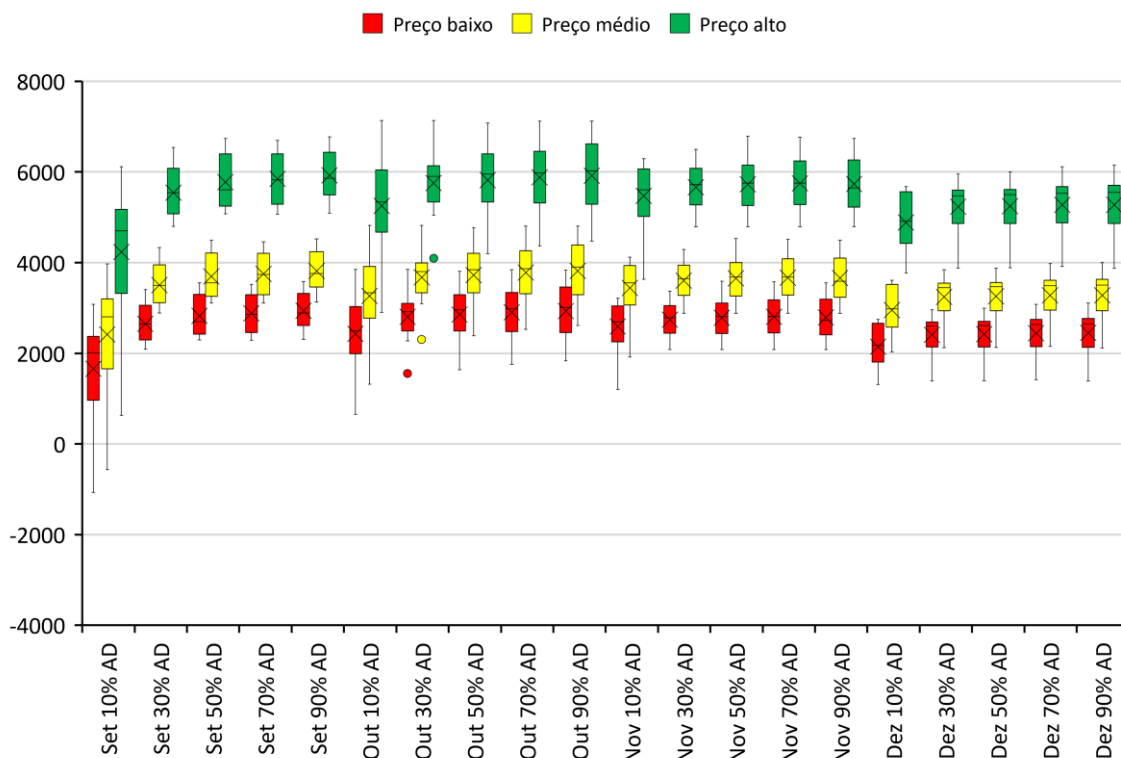


Figura 7. Renda líquida (RL) simulada pelo modelo CSM – CROPGRO – Peanut para diferentes épocas de semeadura da cultura do amendoim na primeira em Jaboticabal, de 2006 a 2020 sob manejos da irrigação, assumindo o cenário de preço baixo, médio e alto do amendoim em casca.

Com a semeadura em segunda safra sob manejos da irrigação a semeadura no mês de janeiro apresenta renda líquida positiva com o cenário de preço baixo, médio e alto (Figura 8). Quando a reposição da água no solo ocorreu com 10 % AD a renda líquida foi de R\$ 1.481 ha<sup>-1</sup> com cenário de preço baixo. Quando considerado o

preço médio e alto do amendoim, a renda líquida média foi de R\$ 2.223 e R\$ 4.000 ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A renda líquida dos manejos da irrigação com 30 – 90% AD foram semelhantes e maiores que a renda líquida com a reposição com 10% AD em todas as épocas de semeadura. Com cenário de preço baixo, a semeadura no mês de fevereiro e março, com os diferentes manejos da irrigação proporcionou renda líquida muito baixa na ordem de R\$ 631 a 1085 ha<sup>-1</sup> e R\$ 890 – 1011 ha<sup>-1</sup> para os meses de fevereiro e março, respectivamente. No mês de março e abril houve renda líquida negativa com a reposição de água com 10% AD e renda líquida R\$ 483 – 882 ha<sup>-1</sup> com dos demais manejos.

Quando considerado o preço médio do amendoim a semeadura a partir do mês de fevereiro apresenta renda líquida inferior a R\$ 2.000 ha<sup>-1</sup>. Já com cenário de preço alto a renda líquida ficou entre R\$ 2000 e 3500 ha<sup>-1</sup> reduzindo a rentabilidade à medida que atrasa a semeadura.

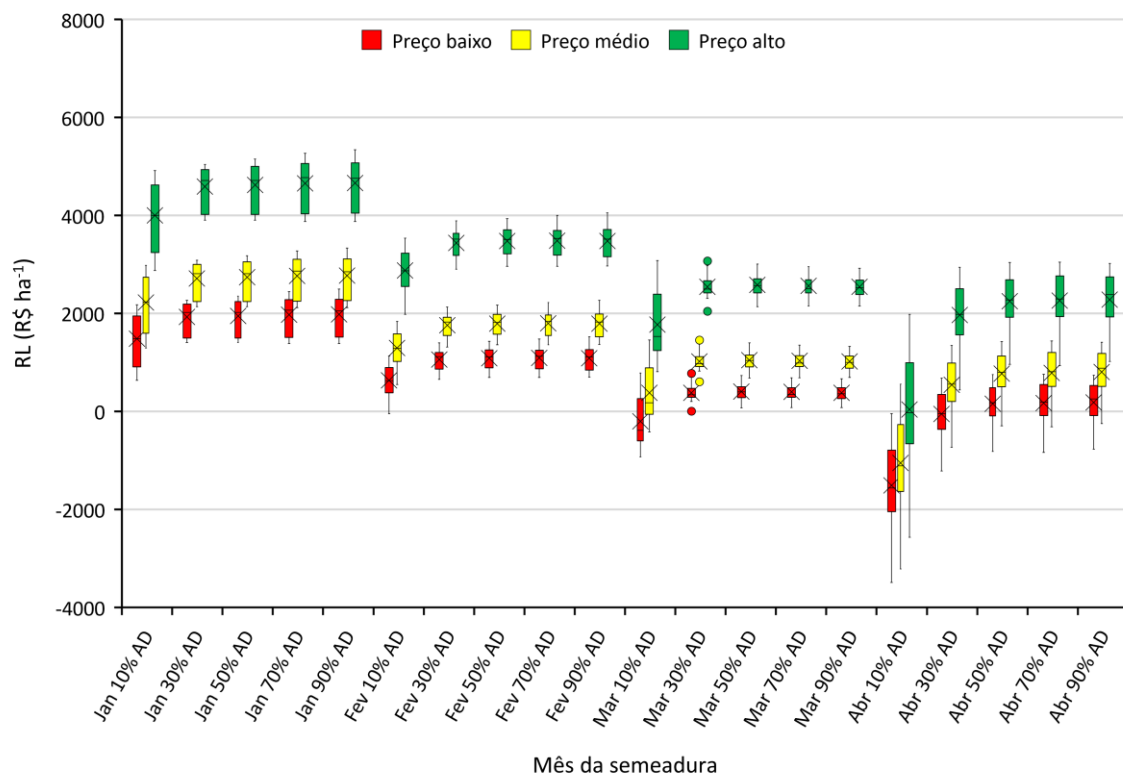


Figura 8. Renda líquida (RL) simulada pelo modelo CSM – CROPGRO – Peanut para diferentes épocas de semeadura de amendoim na segunda safra em Jaboticabal, de

2006 a 2020 sob manejos da irrigação, assumindo o cenário de preço baixo, médio e alto do amendoim em casca.

### **3.5 Rentabilidade do uso da irrigação no cultivo do amendoim**

Houve incremento da renda líquida com a semeadura na primeira safra nos meses de setembro e outubro (Figura 9). Com a semeadura nos meses de novembro e dezembro com o uso da irrigação houve a redução da renda líquida em comparação com o cultivo em sequeiro, devido ao maior custo associado ao cultivo irrigado e baixo incremento na produtividade no período. No entanto, com o uso da irrigação a variabilidade da renda líquida simulada foi menor do que o cultivo sem irrigação, visto que, quando irrigado há a garantia de semeadura pelo modelo.

Em segunda safra houve incremento crescente da renda líquida com a semeadura a partir do mês de fevereiro (Figura 9). No entanto, a renda líquida simulada neste período foi menor do que a renda líquida da semeadura nos meses de novembro sem uso da irrigação. Portanto, apesar de possibilitar a produção de amendoim em segunda safra e incrementar a renda líquida, o uso da irrigação na cultura não obteve renda líquida igual ou superior a renda líquida na primeira safra sem irrigação.

A máxima renda líquida simulada pelo modelo foi alcançada com o cenário de preço alto (R\$ 5.884,00 ha<sup>-1</sup>) com semeadura no mês de novembro sem o uso da irrigação na primeira safra e em janeiro com irrigação (R\$ 4.658,00 ha<sup>-1</sup>).

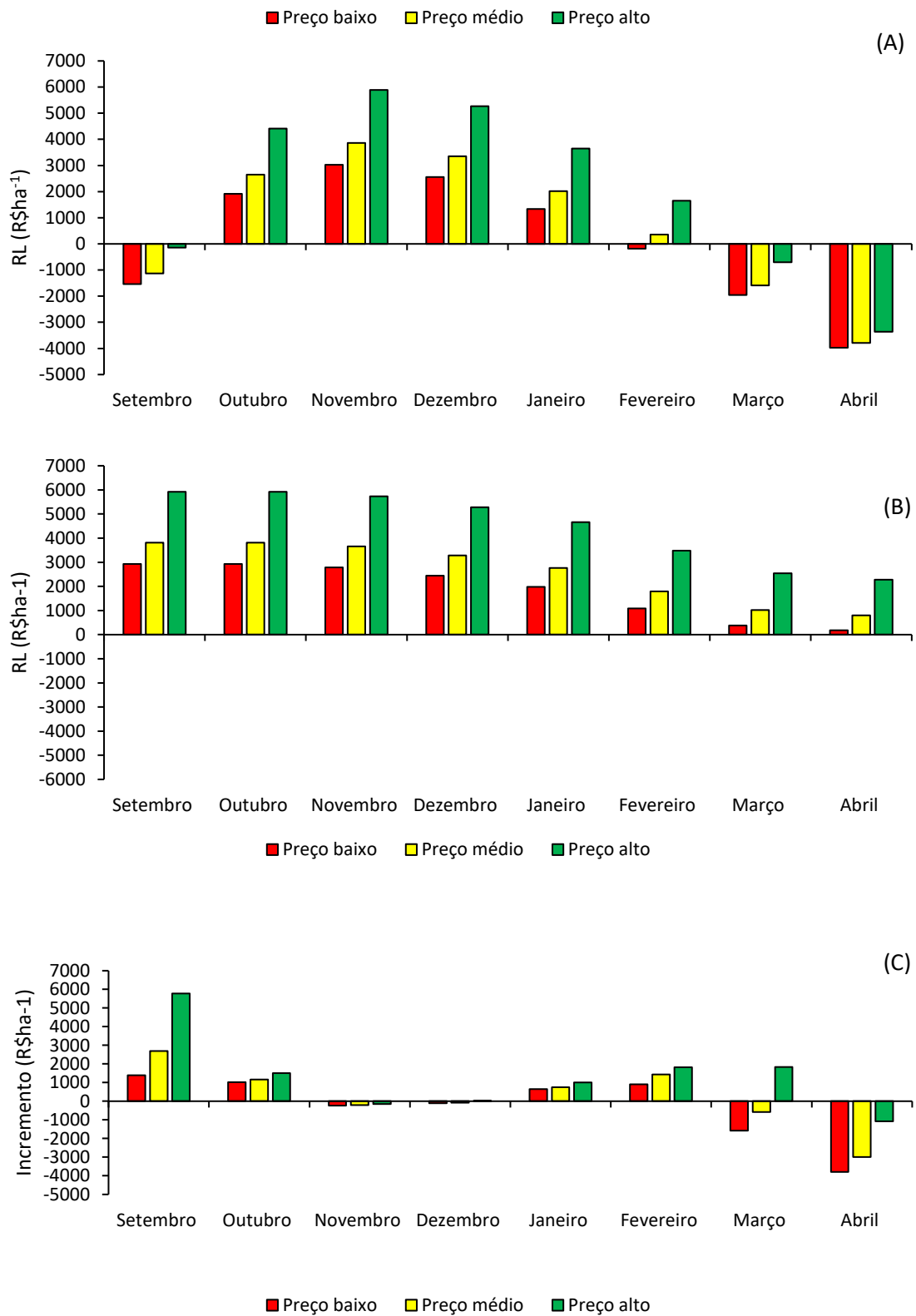


Figura 9. Renda líquida (RL) média sem irrigação (A), RL com irrigação (B) e Incremento na RL devido à irrigação (C) em primeira e segunda safra.

#### 4. Conclusões

As semeaduras no mês de novembro e janeiro apresentam maiores produtividades médias e menores variância na primeira e segunda safra, respectivamente, em 15 anos de simulação de longo período em diferentes datas de semeadura da cultura do amendoim sem o uso da irrigação.

Os manejos da irrigação não proporcionaram incrementos expressivos na produtividade da cultura na primeira safra, no entanto, diminuiu a variabilidade da produtividade ao longo dos anos da simulação. Na segunda safra, aumentou a produtividade da cultura a partir do mês de fevereiro reduzindo a variabilidade das safras e reduzindo o risco associado ao cultivo do amendoim.

A renda líquida média foi positiva na primeira safra sem irrigação entre os meses de outubro e dezembro, independentemente do preço do amendoim. No entanto, a renda líquida é reduzida com a antecipação da semeadura em setembro. Na segunda safra, a semeadura em janeiro apresentou maior renda líquida do que as demais épocas de semeadura. No entanto, a semeadura a partir do mês de fevereiro apresentou renda líquida negativa na condição de preço baixo, constituindo alto risco do cultivo em regime de sequeiro com o atraso da semeadura.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Ahmad S, Hussain S, Fatima Z, Abbas G, Khan MR, Younis H, Naz S (2016) Application of DSSAT Model for Sowing Date Management of C 4 Summer Cereals for Fodder and Grain Crops under Irrigated Arid Environment. **Pakistan Journal of Life & Social Sciences** 14(2):104-114.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JDM, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22(6):711-728.
- Andarzian B, Hoogenboom G, Bannayan M, Shirali M, Andarzian B (2015) Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. **Journal of the Saudi society of agricultural sciences** 14(2):189-199.
- Aydinsakir K, Dinc N, Buyuktas D, Bastug R, Toker R (2016) Assessment of different irrigation levels on peanut crop yield and quality components under Mediterranean conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** 142(9):04016034.
- Banik, CN, Nath R, Chakraborty PK (2009) Effect of dates of sowing on growth and yield of groundnut crop. **Journal of Crop and Weed** 5(2):59-62.

Barbosa RM, Homem BFM, Tarsitano MAA (2014) Custo de produção e lucratividade da cultura do amendoim no município de Jaboticabal, São Paulo. **Revista Ceres** 61:475-481.

Bertino AMP, Faria RT, Jesus ESB, Alves TL, Cazuza Neto A, Barbosa JA (2022) Macronutrient absorption rate of a Runner-type peanut cultivar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 26(6):433-440.

Boote KJ, Jones JW, Mishoe JW, Wilkerson GG (1986). Modeling growth and yield of groundnut. *Agrometeorology of Groundnut: Proceedings of an International Symposium, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger. 21–26 Aug, 1985, ICRISAT, Patancheru, A.P. 502 324, India, pp. 243–254.*

Ferrari Neto J, Da Costa CHM, Castro GSA (2012) Ecofisiologia do amendoim. **Scientia Agraria Paranaensis** 11(4):01-13.

Godoy IJ, Santos JF, Moraes ARA, Carvalho CL, Bolonhezi D, Michelotto MD, Finoto EL, Martins ALM, Freitas R, Cavichioli JC (2021) Cultivares de amendoim IAC Alto Oleicos. Disponível em: <http://infoamendoim.com.br/site/cultivares-de-amendoim-iac-alto-oleicos/>. Acesso em: 03 de março de 2021.

Halder D, Panda RK, Srivastava RK, Kheroar S (2017) Evaluation of the CROPGRO-Peanut model in simulating appropriate sowing date and phosphorus fertilizer application rate for peanut in a subtropical region of eastern India. **The Crop Journal** 5(4):317-325.

Heinemann AB, Sentelhas PC (2011) Environmental group identification for upland rice production in central Brazil. **Scientia Agrícola** 68(5):540-547.

Heinemann AB, Ramirez-Villegas J, Souza TLP, Didonet AD, di Stefano JG, Boote KJ, Jarvis A (2016) Drought impact on rainfed common bean production areas in Brazil. **Agricultural and forest meteorology** 225:57-74.

Hoogenboom G, Porter V, Shelia KJ, Boote U, Singh JW, White LA, Hunt R, Ogoshi JI, Lizaso J, Koo S, Asseng A, Singels LP, Jones JW (2019) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7.5 (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.

Hollinger SE, Ehler EJ, Carlson RE (2001) Midwestern United States Corn and Soybean Yield Response to Changing El Niño-Southern Oscillation Conditions During the Growing Season. **Impacts of El Niño and climate variability on agriculture** 63: 31-54.

Justino LF, Júnior JA, Battisti R, Heinemann AB, Leite CV, Evangelista AWP, Casaroli D (2019) Assessment of economic returns by using a central pivot system to irrigate common beans during the rainfed season in Central Brazil. **Agricultural Water Management** 224:105749.

Ketring DL (1991) Physiology of oil seeds: IX. Effects of water deficit on peanut seed quality. **Crop science** 31(2):459-463.

- Lopez JR, Winter JM, Elliott J, Ruane AC, Porter C, Hoogenboom G (2017) Integrating growth stage deficit irrigation into a process-based crop model. **Agricultural and Forest Meteorology** 243:84-92.
- Peixoto CP, Gonçalves JA, Peixoto MDFDSP, Carmo DOD (2008) Características agronômicas e produtividade de amendoim em diferentes espaçamentos e épocas de semeadura no recôncavo baiano. **Bragantia** 67:673-684.
- Santos MG, Boote KJ, Faria RT, Hoogenboom G (2019) Simulation of productivity and soil moisture under Marandu palisade grass using the CSM-CROPGRO-Perennial Forage model. **Crop and Pasture Science** 70(2):159-168.
- Santos AAC, de Oliveira AJ, de Oliveira TC, da Cruz AKN, da Silva Almici M (2021) A cultura do *Arachis hypogaea* L.: Uma revisão. **Research, Society and Development** 10(2):e24910212719-e24910212719.
- Silva FEV, de Fatima Carvalho F, Borges LC, da Silva Claudino T, Pandolfi MAC (2020) Análise de Viabilidade Econômica de uma Agroindústria Processadora de Amendoim. **Revista Interface Tecnológica** 17(1): 376-387.
- Suarez LT, Suarez JD, Coronado JG, O'farrill SG (2018) Evaluation of Irrigation Strategies for Soybean Cultivation Using DSSAT-CROPGRO Model/Valoración de estrategias de riego para el cultivo de la soya usando el modelo DSSAT-CROPGRO. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias** 27(3):1e-1e.
- Santos HG et al (2018) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília: Embrapa.
- Thorburn PJ, Boote KJ, Nendel C, Rötter RP, Ewert F (2018) Recent advances in crop modelling to support sustainable agricultural production and food security under global change. **European Journal of Agronomy** 100:1–3
- Woli, P, Paz JO, Hoogenboom G, Garcia y Garcia A, Fraise CW (2013) The ENSO effect on peanut yield as influenced by planting date and soil type. **Agricultural Systems** 121:1-8.

## CONSIDERAÇÃO FINAIS

O modelo de simulação CSM – CROPGRO – PEANUT apresenta alta performance na avaliação de cenários para definição de estratégias de irrigação na cultura do amendoim, fornecendo informações precisas das alterações do crescimento e desenvolvimento (fases fenológicas e altura das plantas) da cultura e dos componentes de produção em função do regime hídrico submetido. Além disso, apresenta bom desempenho para combinar os resultados do modelo com dados econômicos para análise de risco e decisão de investimento para cada estratégia de irrigação preconizada.

Apesar do alto desempenho, o modelo não simulou satisfatoriamente a redução do dossel dos cultivares brasileiro (IAC 503 e IAC 506). Modificações nos arquivos genéticos de ecótipo podem ser realizadas para adequação do modelo aos novos cultivares de amendoim brasileiros, visto que os cultivares que preconizaram os modelos apresentam características genéticas diferentes dos cultivares implantados no Brasil.

O uso da irrigação na cultura do amendoim na primeira safra diminui o risco de baixa produtividade e reduz a sazonalidade do cultivo, assegurando ao agricultor renda líquida positiva, independentemente da época de semeadura entre outubro e dezembro. Apesar de a renda líquida obtida com a cultura sob irrigação ser menor em comparação com o cultivo em sequeiro, o sistema de irrigação permitirá a implantação de outros cultivos, contribuindo para a rotação de culturas e o aumento das receitas no sistema de cultivo da propriedade.

Quando considerada a segunda safra, o uso da irrigação reduz o risco associado ao cultivo e garantia de renda líquida positiva, e possibilita a produção de sementes de melhor qualidade, já que a incidência de pragas e doenças na segunda safra é menor em comparação com a primeira safra. Assim, agrega-se valor ao cultivo, visto que a produção poderá ser comercializada como semente, e não como grão. Essa é uma alternativa aos agricultores que não se dedicam ao cultivo da cana-de-açúcar na região de Jaboticabal-SP, contribuindo para a geração de emprego e renda.

No entanto, há a necessidade do desenvolvimento de uma plataforma com melhor interface em GIS, na qual o usuário seleciona os talhões de cultivo da região

de interesse, insere ou escolhe dos dados de entrada do modelo (solo e clima, preços do amendoim e o custo de produção) e o modelo CSM – CROPGRO – Peanut gera as simulações das possíveis estratégias de cultivo auxiliando na tomada de decisão.

## **APÊNDICE**

Tabela 3. Custos de insumos e de operações agrícolas para a cultura do amendoim na região nordeste do estado de São Paulo.

DESCRIÇÃO/ANO	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	CUSTO (R\$ ha <sup>-1</sup> )	CUSTO (R\$ ha <sup>-1</sup> )	CUSTO (R\$ ha <sup>-1</sup> )	CUSTO (R\$ ha <sup>-1</sup> )	CUSTO (R\$ ha <sup>-1</sup> )	CUSTO (R\$ ha <sup>-1</sup> )	CUSTO (R\$ ha <sup>-1</sup> )
<b>I - DESPESAS DE CUSTEIO</b>							
Tratores e Colheitadeiras	416.90	483.20	504.34	526.66	548.40	996.32	918.30
Mão de obra	49.97	61.97	63.80	63.80	63.80	-	-
Administrador	51.44	52.28	55.72	55.72	51.44	240.00	240.00
Sementes e mudas	709.50	858.00	825.00	825.00	990.00	1200.00	1200.00
Fertilizantes	224.20	265.88	331.03	273.50	293.31	531.55	533.15
Agrotóxicos	1032.20	1199.28	1424.07	1446.08	1445.06	1572.93	1529.54
Demais Despesas	74.53	550.00	600.00	655.00			
<b>TOTAL DAS DESPESAS DE CUSTEIO (A)</b>	<b>2558.74</b>	<b>3470.61</b>	<b>3803.96</b>	<b>3845.76</b>	<b>3392.01</b>	<b>4540.80</b>	<b>4420.99</b>
<b>II - OUTRAS DESPESAS</b>							
Transporte Externo	165.00	198.00	210.38	218.63	222.87	212.83	212.83
Despesas Administrativas	0.00	87.62	96.12	95.72	101.76	136.22	132.63
Despesas de armazenagem	70.04	93.87	95.33	103.54	124.08	-	-
CESSR	97.91	101.75	112.97	175.86	91.05	99.00	131.52
<b>TOTAL DAS OUTRAS DESPESAS (B)</b>	<b>332.95</b>	<b>481.24</b>	<b>514.80</b>	<b>593.75</b>	<b>539.76</b>	<b>448.05</b>	<b>476.98</b>
<b>III - DESPESAS FINANCEIRAS</b>							
Juros do Financiamento	67.96	105.28	115.05	121.97	119.37	169.33	179.22
<b>TOTAL DAS DESPESAS FINANCEIRAS (C)</b>	<b>67.96</b>	<b>105.28</b>	<b>115.05</b>	<b>121.97</b>	<b>119.37</b>	<b>169.33</b>	<b>179.22</b>
<b>CUSTO VARIÁVEL (A+B+C=D)</b>	<b>2959.65</b>	<b>4057.13</b>	<b>4433.81</b>	<b>4561.48</b>	<b>4051.14</b>	<b>5158.18</b>	<b>5077.19</b>
<b>IV - DEPRECIACÕES</b>							
Depreciação de benfeitorias/instalações	148.89	155.12	158.98	160.45	168.90	68.73	70.14
Depreciação de implementos	111.29	99.85	104.90	108.04	109.89	149.19	154.65
Depreciação de Máquinas	68.83	76.81	77.77	79.50	97.02	113.66	140.52
<b>TOTAL DE DEPRECIACÕES (E)</b>	<b>329.01</b>	<b>331.78</b>	<b>341.65</b>	<b>347.99</b>	<b>375.81</b>	<b>331.58</b>	<b>365.31</b>
<b>V - OUTROS CUSTOS FIXOS</b>							
Manutenção Periódica Benfeitorias/Instalações	0.00	-	0.00	0.00	0.00	36.07	37.61
Encargos Sociais	23.45	23.83	25.40	25.40	23.45	0.00	79.27
Seguro do capital fixo	9.29	9.33	9.65	9.90	10.53	15.18	14.54
Arrendamento	800.00	-	-	-	-	1254.00	1665.88
<b>TOTAL DE OUTROS CUSTOS FIXOS (F)</b>	<b>832.74</b>	<b>33.16</b>	<b>35.05</b>	<b>35.30</b>	<b>33.98</b>	<b>1305.25</b>	<b>1797.30</b>
<b>CUSTO FIXO (E+F=G)</b>	<b>1161.75</b>	<b>364.94</b>	<b>376.70</b>	<b>383.29</b>	<b>409.79</b>	<b>1636.83</b>	<b>2162.61</b>
<b>CUSTO OPERACIONAL (D+G=H)</b>	<b>4121.40</b>	<b>4422.07</b>	<b>4810.51</b>	<b>4944.77</b>	<b>4460.93</b>	<b>6795.01</b>	<b>7239.80</b>
<b>VI - RENDA DE FATORES</b>							
Remuneração esperada sobre o capital fixo	74.19	96.81	106.81	117.88	113.62	121.30	119.60
Terra Própria	0.00	690.47	767.75	826.03	1011.25	93.00	100.26
<b>TOTAL DE RENDA DE FATORES (I)</b>	<b>74.19</b>	<b>787.28</b>	<b>874.56</b>	<b>943.91</b>	<b>1124.87</b>	<b>214.30</b>	<b>219.86</b>
<b>CUSTO TOTAL (H+I=J)</b>	<b>4195.59</b>	<b>5209.35</b>	<b>5685.07</b>	<b>5888.68</b>	<b>5585.80</b>	<b>7009.31</b>	<b>7459.66</b>
<b>CUSTO TOTAL MÉDIO DO PERÍODO</b>	<b>5861.92</b>						

Fonte: Conab, 2020