



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHERIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



MARCOS ANTONIO MARTINS FEITOSA

**USO DE MODELOS AGROMETEOROLOGICOS NA ESTIMATIVA DE
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO AMENDOIM: Uma Revisão Bibliográfica**

Rio Largo, AL

2025

MARCOS ANTONIO MARTINS FEITOSA

**USO DE MODELOS AGROMETEOROLOGICOS NA ESTIMATIVA DE
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO AMENDOIM: Uma Revisão Bibliográfica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia do
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias -
CECA da Universidade Federal de Alagoas -
UFAL, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra

Rio Largo, AL

2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

F311u Feitosa, Marcos Antonio Martins.

Uso de modelos agrometeorológicos na estimativa de produtividade da cultura do amendoim: uma revisão bibliográfica. / Marcos Antonio Martins Feitosa. – 2025.

57 f.: il.

Orientador(a): Guilherme Bastos Lyra.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. AquaCrop. 2. CropWat. 3. Condições climáticas. 4. Modelagem. 5. DSSAT. I. Título.

CDU: 633.852.52

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUTOR: MARCOS ANTONIO MARTINS FEITOSA

USO DE MODELOS AGROMETEOROLOGICOS NA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DO AMENDOIM: Uma Revisão Bibliográfica

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
banca examinadora, como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Data da defesa: 29 de julho de 2025

Conceito: 9,75

Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra, UFAL – CECA
Orientador

MSc., Iêdo Peroba de Oliveira Teodoro, Esalq/USP
Examinador 1

Prof. MSc., José Wanderson Silva dos Santos, UFAL - CECA
Examinador 2

Ma., Maria Fernanda da Silva Santos, UFAL
Examinador 3

DEDICATÓRIA

A Deus e Nossa Senhora pelo amparo em momentos difíceis e pela resiliência de superá-los.

A minha tia, Tânia Maria do Nascimento Martins (*in memoriam*), que sempre cuidou e acreditou em mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora pelas oportunidades de dar o meu melhor, pelo discernimento, por ter me dado forças e todas as graças para conseguir chegar até aqui.

Aos meus pais, Monica Maria do Nascimento Martins e Elionaldo Calau de Melo Feitosa, e irmã, Brauliana Monicky do Nascimento Martins Oliveira pelo apoio, amor incondicional, conselhos, carinho, incentivo, educação e suporte durante a trajetória;

Aos meus tios, Sandra Maria do Nascimento Martins e Amaro Caetano da Silva por todo suporte e incentivo a educação, e a minha avó, Leuzina do Nascimento Martins por ser meu alicerce e motivação.

A minha namorada, Maria Luiza Ferreira Fausto Alves, por todo carinho, companheirismo e apoio durante parte desta jornada, sempre me lembrando que sou capaz;

Aos meus demais familiares, por também me incentivarem e pelo apoio prestado;

Ao meu orientador, professor Dr. Guilherme Bastos Lyra, pela confiança, por todos os ensinamentos, conselhos e amizade;

Aos professores do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia: Iêdo Teodoro, Marcos Alex, Ricardo Araújo, Alexsandro Almeida, Gustavo Lyra, Ivomberg Dourado e Adolpho Quintela pelos ensinamentos e incentivos;

Ao corpo docente do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias por terem contribuído em minha formação;

A Universidade Federal de Alagoas (UFAL), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pelas concessões de bolsas;

Aos meus amigos de laboratório: José Wanderson, Iêdo Peroba, Jair Quintela, Marcos

Moraes, Tiago Amaral, José Antonio, Larisse Araújo, Marcelo Tertuliano, Gustavo Santos, Danilo Nascimento, Thiago Cirilo, Maria Fernanda, Jéssica Pimenta, Laysa Ramalho, Francisco Bento, Denílson Boia, João Guilherme, Samuel Lopes, Letícia Silva, Hanyson dos Santos e Kayky Victor por todos os momentos de descontração, ajuda, troca de aprendizagens, apoio e amizade;

Aos meus amigos de turma: Alan Douglas, Ana Beatriz, Gustavo Santos, Gabrielle Lira, Laysa Santos, Mickelly Lira, Maria Clara e Caio Anjos, pelo companheirismo, amizade, momentos de descontração e por dividirem todos os momentos bons e difíceis em meio a toda trajetória do curso.

Aos meus amigos em especial, que além da ajuda prestada e tempo dedicado a realização deste trabalho, pelos momentos vividos, irmandade, boas conversas e motivações diárias: Luis Henrique, Gustavo Santos, José Wanderson, Tiago Amaral e Marcelo Tertuliano.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram com a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

Epígrafe

“O sonho é que leva a gente para a frente. Se a gente for seguir a razão, fica aquietado, acomodado.”

(Ariano Suassuna)

RESUMO

O amendoim é uma das principais culturas agrícolas do Brasil e do mundo. Diante das complicações ocasionadas pelas mudanças climáticas na produção agrícola, os modelos agrometeorológicos surgem como ferramentas precisas, cuja aplicação se torna essencial para detectar fragilidades nos sistemas produtivos, otimizar recursos e ampliar a capacidade de adaptação a condições adversas. Objetivou-se realizar um levantamento bibliográfico sobre o uso de modelos agrometeorológicos na estimativa da produtividade do amendoim, identificando os principais fatores que afetam a produtividade, as variáveis envolvidas e a aplicabilidade desses modelos em diferentes contextos agrícolas. Neste trabalho, foi possível observar que os modelos agrometeorológicos AquaCrop, CROPWAT e DSSAT são ferramentas eficazes na estimativa da produtividade do amendoim, ao considerar variáveis climáticas, edáficas e de manejo. Identificaram-se como principais fatores que afetam a produtividade da cultura a disponibilidade hídrica, a época de semeadura e a densidade de plantas. Também se evidenciou a importância da calibração e validação dos modelos com dados locais para garantir maior precisão nas simulações. Conclui-se que esses modelos auxiliam no planejamento agrícola e na tomada de decisão.

Palavras-chave: AquaCrop; CropWat; DSSAT; Condições climáticas; Modelagem.

ABSTRACT

Peanut is one of the main agricultural crops in both Brazil and the world. In light of the complications caused by climate change in agricultural production, agrometeorological models have emerged as precise tools, whose application becomes essential for identifying weaknesses in production systems, optimizing available resources, and enhancing the capacity to adapt to adverse conditions. This study aimed to conduct a literature review on the use of agrometeorological models in estimating peanut yield, identifying the main factors that affect productivity, the variables involved, and the applicability of these models in different agricultural contexts. It was observed that the agrometeorological models AquaCrop, CROPWAT, and DSSAT are effective tools for estimating peanut productivity, as they consider climatic, edaphic, and management variables. The main factors identified as influencing crop yield were water availability, sowing time, and plant density. The importance of calibrating and validating the models with local data to ensure greater simulation accuracy was also highlighted. It is concluded that these models support agricultural planning and decision-making.

Keywords: AquaCrop; CropWat; DSSAT; Weather conditions; Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Índices de produção e área cultivada mundial do ano de 2000 a 2023.....	16
Figura 2. Índices de produção e área cultivada nacional (Brasil) do ano de 2010 a 2023.	17
Figura 3. Índices de Área cultivada (a), Produção (b) e Produtividade média (c) nacional (Brasil) da cultura do amendoim nos principais estados produtores no ano de 2023, adaptado do IBGE (2023).	18
Figura 4. Tipos de crescimento de cultivares de amendoim.....	20
Figura 5. Estruturas morfológicas da planta do Amendoim.....	22
Figura 6. Layout do menu dos parâmetros de entrada do modelo AquaCrop versão 6.1.	27
Figura 7. Procedimentos realizados pelo modelo AquaCrop nas 4 etapas e processos (setas pontilhadas) afetados pelo estresse hídrico (a - e) e estresse por temperatura (f - g). Zr é a profundidade de enraizamento. O estresse hídrico: (a) retarda a expansão do dossel, (b) acelera a senescência do dossel, (c) diminui o aprofundamento da raiz, mas apenas se severo, (d) reduz a abertura estomática e a transpiração e (e) afeta o índice de colheita (IC) (IC é citado no modelo como HI; acrônimo em inglês para harvest index). Enquanto, o estresse de baixa temperatura (f) reduz a transpiração da cultura, e o estresse por temperatura quente ou fria (g) inibe a polinização e reduz o IC.	29
Figura 8. Relação entre nível de estresse estabelecido pelo usuário (estresse relativo) e coeficiente de stress (Ks) gerado no modelo AquaCrop. As relações podem ser lineares ou convexas.	30
Figura 9. Layout do modelo CROPWAT.....	32
Figura 10. Layout do software CLIMWAT for CROPWAT.	34
Figura 11. Layout geral do DSSAT.....	35
Figura 12. Esquema geral dos componentes e estrutura modular do CSM-DSSAT.	36
Figura 13. Variáveis meteorológicas de entradas nos modelos AQUACROP, CROPWAT e DSSAT.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fases de desenvolvimento da cultura do amendoim adaptado de Boote, 1982.....	23
Tabela 2. Critério de interpretação do desempenho do método de estimativa, pelo índice de concordância (c).	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B	Biomassa
C°	Graus celcius
d	Índice de concordância de Willmontt's
DSSAT	Decision Support System for Agrotechnology Transfer
E	Média dos valores estimados
e _a	Pressão real de vapor
E _i	Valores estimados
e _s	Pressão de vapor de saturação
ET ₀	Evapotranspiração de referência
ET _C	Evapotranspiração da cultura
G	fluxo de calor no solo
GD	Graus dia
IAF	índice de área foliar
IWR	Necessidade de irrigação
M	Média dos valores mensurados
M _i	Valores mensurados
NSE	eficiência de Nash e Sutcliffe
Pe _{ff}	Precipitação efetiva
R ²	Coefficiente de determinação
RMSE	Raiz quadrada do erro médio
R _n	Radiação líquida
T	Temperatura média diária do ar
T _R	Transpiração
VIB	Velocidade de infiltração básica
WP*	Produtividade da água normalizada
γ	Constante psicrométrica
Δ	Inclinação da curva de pressão de vapor

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Aspectos gerais da cultura do amendoim	16
2.2	Aspectos morfofisiológicos	19
2.3	Fatores que afetam a produtividade.....	24
2.3.1	Disponibilidade hídrica	24
2.3.2	Época de semeadura	24
2.3.3	Densidade de plantas	25
2.4	Modelos agrometeorológicos	26
2.4.1	Modelo AquaCrop	26
2.4.2	Modelo CROPWAT	32
2.4.3	Modelo DSSAT - Decision Support System for Agrotechnology Transfer.....	35
2.5	Variáveis de entrada	38
2.5.1	Variáveis meteorológicas	38
2.5.2	Variáveis da cultura	40
2.5.3	Variáveis do solo	41
2.5.4	Manejo da cultura	42
2.6	Calibração e validação.....	43
2.7	Análise de dados modelados	45
3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

A cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) ocupa a quarta posição entre as oleaginosas mais produzidas no mundo, ficando atrás apenas da soja, do algodão e da colza (Gil, 2019). Em escala global, sua produção alcançou 54 milhões de toneladas, cultivadas em aproximadamente 31 milhões de hectares, sendo a Ásia o principal continente produtor (FAOSTAT, 2023). No Brasil, durante a safra 2023/2024, foram produzidas cerca de 733 mil toneladas, em uma área de 255 mil hectares, resultando em uma produtividade média de aproximadamente 2,8 t ha⁻¹. No entanto, a região Nordeste contribuiu com apenas 3,8 mil toneladas (CONAB, 2025). Em particular, o estado de Alagoas registrou produtividade média em torno de 2 t ha⁻¹, com a produção destinada, sobretudo, ao abastecimento das demandas locais (IBGE, 2023; Silva, 2022).

No cenário atual, a produção agrícola mundial enfrenta desafios crescentes impostos pelas mudanças climáticas, pelo aumento populacional e pela escassez de recursos naturais (Fahad et al., 2019). Diante disso, o uso de tecnologias que favoreçam a tomada de decisão e a adaptação das práticas agrícolas torna-se essencial. Os modelos agrometeorológicos, ao simularem as interações entre solo, planta e atmosfera, permitem estimativas mais precisas da produtividade agrícola. Tais ferramentas são estratégicas para identificar fragilidades nos sistemas produtivos, otimizar o uso dos recursos disponíveis e ampliar a capacidade de adaptação às condições climáticas adversas (Hoque et al., 2025). Além de seu papel preditivo, esses modelos contribuem significativamente para o desenvolvimento de soluções agrícolas adaptadas às diferentes realidades regionais, especialmente em um contexto de intensificação das mudanças no regime térmico, pluviométrico e na ocorrência de eventos climáticos extremos (Timlin et al., 2024).

Nesse contexto, destaca-se o modelo AquaCrop, desenvolvido para responder à crescente necessidade de gestão eficiente da água nas culturas, impulsionada pelas alterações climáticas (Hussain et al., 2025). Esse modelo tem se mostrado eficaz na simulação de variáveis relacionadas à cultura do amendoim em diferentes cenários (Suandana et al., 2023; Matailo-Ramirez et al., 2023; Chibarabada et al., 2020). Outro modelo amplamente utilizado é o CROPWAT, desenvolvido pela FAO, que emprega dados de solo, clima e cultura para estimar a evapotranspiração de referência (ET₀), programar a irrigação e determinar a necessidade hídrica das culturas (Ray et al., 2024). Apesar de ainda haver poucos estudos específicos com o CROPWAT voltados ao amendoim, ele já tem sido utilizado com sucesso para culturas como

trigo, sorgo, algodão, milho e soja (Khan et al., 2021; Li et al., 2022; Nie et al., 2023), e demonstra potencial para contribuir com essa leguminosa também. Já o Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) é considerado um dos sistemas de simulação agrícola mais completos e utilizados mundialmente. Ele apresenta alta precisão na simulação diária do crescimento das culturas com base em variáveis genéticas, de manejo e ambientais (Tan et al., 2020; Liu et al., 2023; Wang et al., 2023; Zhang et al., 2024; Li et al., 2019). Estudos recentes comprovam sua eficácia na simulação do crescimento e desenvolvimento do amendoim (Chen et al., 2025; Ahmad et al., 2021).

Diante da relevância desses modelos e da necessidade de estratégias que promovam a sustentabilidade e a eficiência na produção do amendoim, sobretudo em regiões com baixa representatividade produtiva como o Nordeste brasileiro, o presente trabalho teve como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre o uso dos modelos agrometeorológicos AquaCrop, CROPWAT e DSSAT na estimativa da produtividade do amendoim, identificando os principais fatores que afetam a produtividade, as variáveis envolvidas e a aplicabilidade desses métodos em diferentes contextos agrícolas.

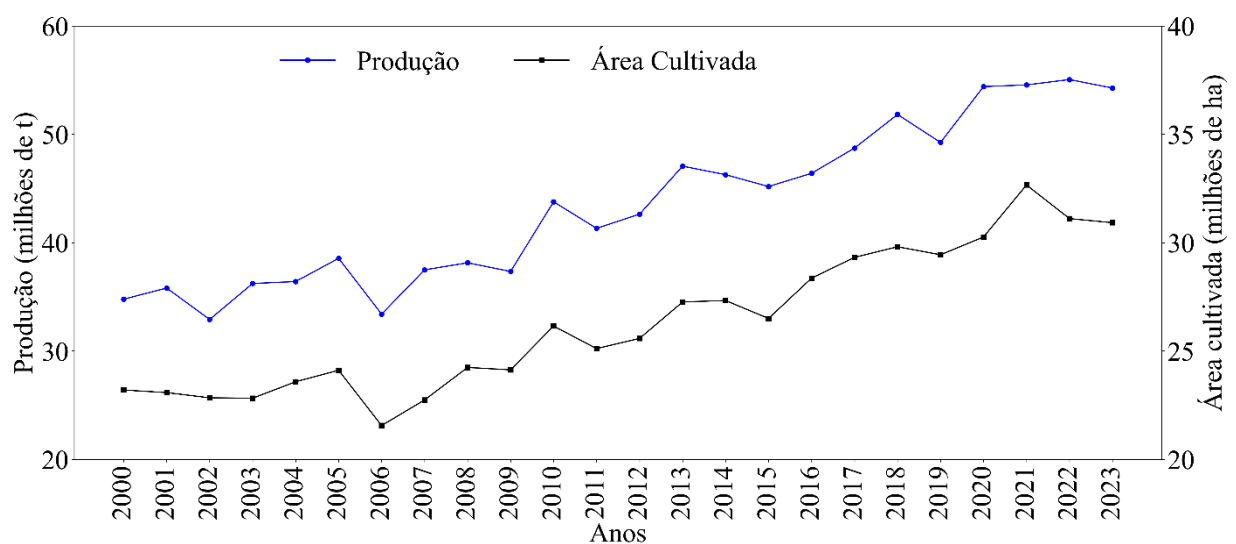
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da cultura do amendoim

O amendoim, pertencente à família Fabaceae, tem origem na América do Sul, na região entre o Amazonas e a Argentina (Farias, 2021). Considerada uma oleaginosa importante, sendo a quarta oleaginosa mais cultivada globalmente em função do seu alto teor de óleo, proteínas e vitaminas. Além de demonstrar diversas vantagens, desde o seu uso mais convencional, como a alimentação humana e animal, para a sua utilização como biocombustível (Cruz et al., 2021).

No cenário mundial, a cultura do amendoim está em expansão, como indicado pelos dados disponibilizados pela FAOSTAT (2025), nos anos de 2000 a 2023 a área cultivada passou de 23,2 milhões de hectares para cerca de 30,92 milhões de hectares em 2023, tendo um aumento percentual de 33,28%. Concomitantemente à expansão da área cultivada, houve também um aumento na produção no mesmo período, em que passamos de uma média de 34,78 milhões de toneladas para 54,27 milhões de toneladas no ano de 2023, possibilitando um acréscimo percentual de 56,03%. Tendo como safra recorde a do ano de 2022, com uma produção de cerca de 55,05 milhões de toneladas (Figura 1).

Figura 1. Índices de produção e área cultivada mundial do ano de 2000 a 2023.

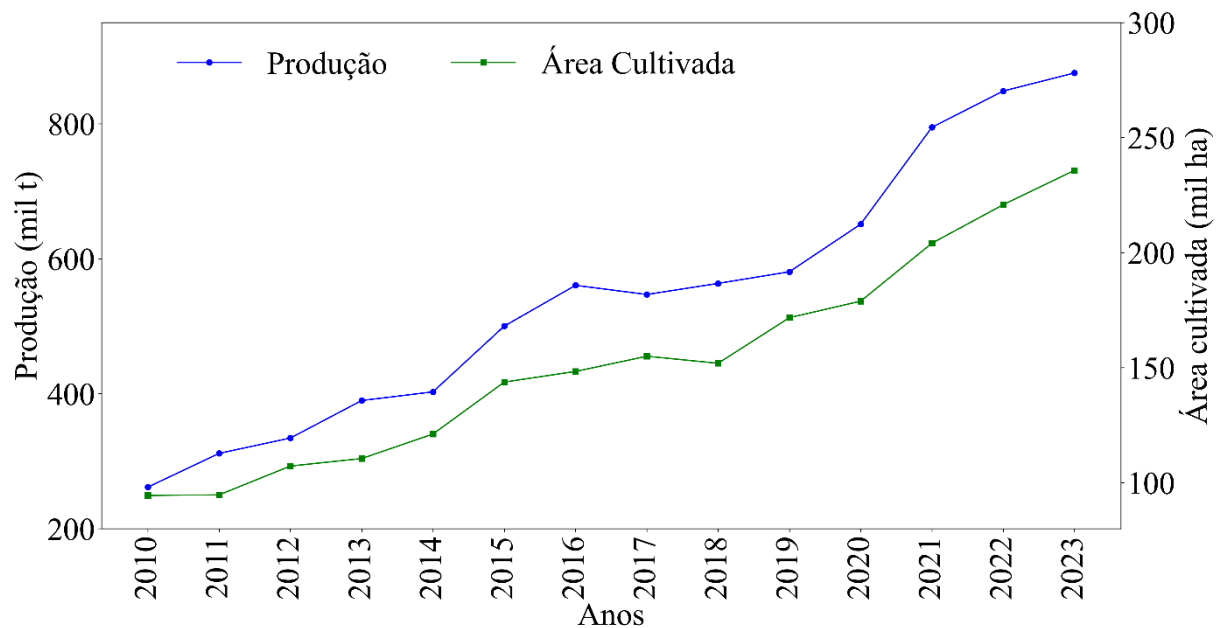


Fonte: FAOSTAT (2025).

Seguindo a tendência global, no Brasil, a importância econômica da cultura do amendoim é refletida nos índices de produção. Os dados disponibilizados pela Companhia Brasileira de Agricultura e Abastecimento (CONAB), apresentaram uma expansão da cultura

nacionalmente, com avanço de 15,6% na área cultivada entre a safra dos anos 22/23 para 23/24, resultando em uma área total de 255,4 mil hectares (CONAB, 2024). Enquanto no período de 2010 para 2023, de acordo com dados disponibilizados pelo IBGE (2023), houve um crescimento de aproximadamente 149% no cultivo da cultura no país, com uma produção de cerca de 875,2 mil toneladas com produtividade média de 3,7 mil kg ha⁻¹ (Figura 2). Torna-se evidente a evolução do Brasil na produção da cultura, sendo resultado do desenvolvimento de tecnologias de manejo e cultivares mais eficientes e adaptadas.

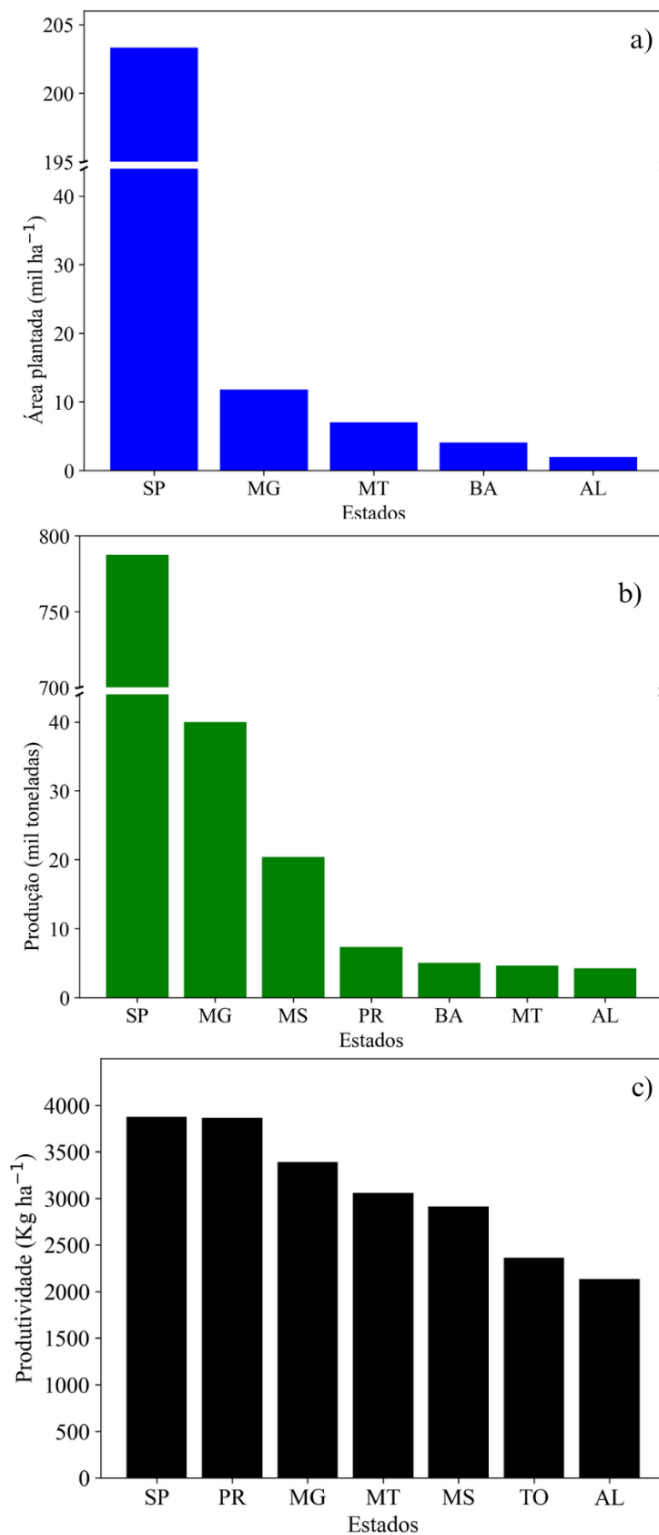
Figura 2. Índices de produção e área cultivada nacional (Brasil) do ano de 2010 a 2023.



Fonte: IBGE (2023).

Conforme o IBGE (2023), o estado de São Paulo, que se sobressai aos demais com a maior área de cultivo da cultura, com cerca de 203 mil hectares, representando cerca de 86% da área cultivada do país e de maneira conjunta também se posiciona como maior produtor do país, mas sua produtividade torna-se semelhante à do estado do Paraná (Figura 3).

Figura 3. Índices de Área cultivada (a), Produção (b) e Produtividade média (c) nacional (Brasil) da cultura do amendoim nos principais estados produtores no ano de 2023, adaptado do IBGE (2023).



Fonte: IBGE (2023).

A cultura do amendoim se disseminou na região Nordeste a partir de cultivares crioulas e comerciais, como BR1 e BRS151 L7, destacam-se por sua adaptação ao ambiente semiárido, apresentando características específicas, como tolerância à seca, ciclos curtos e maior produtividade, indicadas para tabuleiros costeiros, vales irrigados e solos com textura arenosa. As cultivares adaptadas à região Nordeste também se sobressaem pela resistência a doenças e pragas, alta taxa de germinação e sementes de elevado valor nutricional, fatores que favorecem sua comercialização em mercados exigentes, tanto nacionais quanto internacionais (Prado et al., 2021; Araújo, 2021).

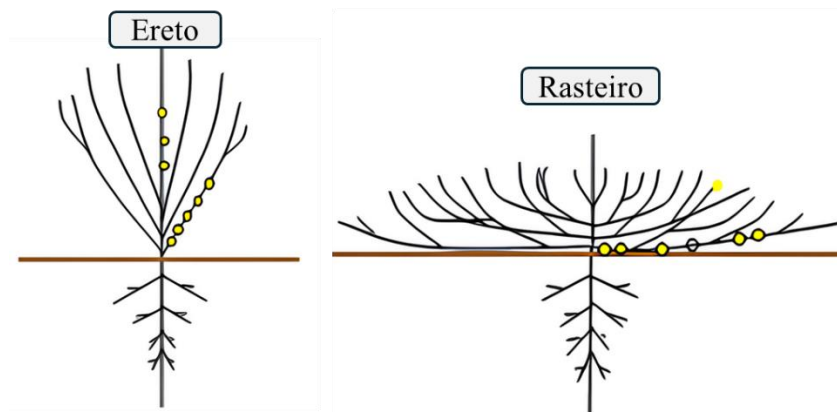
Em termos de produtividade, o estado de Alagoas destacou-se com uma média de 2,1 mil kg ha⁻¹, superior à registrada na Bahia, que alcançou 1,42 mil kg ha⁻¹. No entanto, quando se trata da produção total, a Bahia lidera no Nordeste com 5 mil toneladas, seguida por Alagoas, que atingiu 4,3 mil toneladas. Em Alagoas, o município de Taquarana se sobressai como o principal produtor do estado (IBGE, 2023).

.Em Alagoas, o município de Taquarana que produziu 1,076 toneladas representando em torno de 25% da safra do Estado em 2023, o amendoim destaca-se como uma das culturas agrícolas de mais importância, no qual o grão colhido na sua fase de maturação fisiológica, é direcionado para indústria, em que passará pelo seu beneficiamento com intuito de suprir a demanda local deste produto (Silva, 2022).

2.2 Aspectos morfofisiológicos

A planta de amendoim é herbácea e anual, com crescimento que pode ser ereto ou rasteiro (Centurion, 1998), como pode ser observado na Figura 4. O sistema radicular é pivotante, com desenvolvimento profundo e capacidade de exploração da umidade do solo, sendo que mais de 50% das raízes estão distribuídas nos primeiros 30 cm do solo (Krans et al., 1980).

Figura 4. Tipos de crescimento de cultivares de amendoim.



Fonte: Adaptado de Aegro (2025).

O amendoim é subdividido em duas subespécies principais: *Arachis hypogaea* subesp. *hypogaea* e *Arachis hypogaea* subespécie *fastigiata*. A primeira compreende as variedades botânicas *hypogaea* e *hirsuta*, enquanto a segunda engloba as variedades *fastigiata*, *peruviana*, *aequatoriana* e *vulgaris* (Krapovickas; Gregory, 2007).

As cultivares comerciais de amendoim são classificadas em três grandes grupos: Valência, Virgínia e Spanish (Sholar et al., 1995). O grupo Valência tem como principais características plantas de porte ereto e ciclo curto, de 90 a 110 dias, com frutos pequenos e sementes sem dormência. Já o grupo Virgínia apresenta crescimento rasteiro, um ciclo mais longo, de 120 a 150 dias, e frutos maiores, geralmente com duas sementes que apresentam dormência. O grupo Spanish tem características similares, mas os frutos geralmente contêm duas sementes (Godoy et al., 2005).

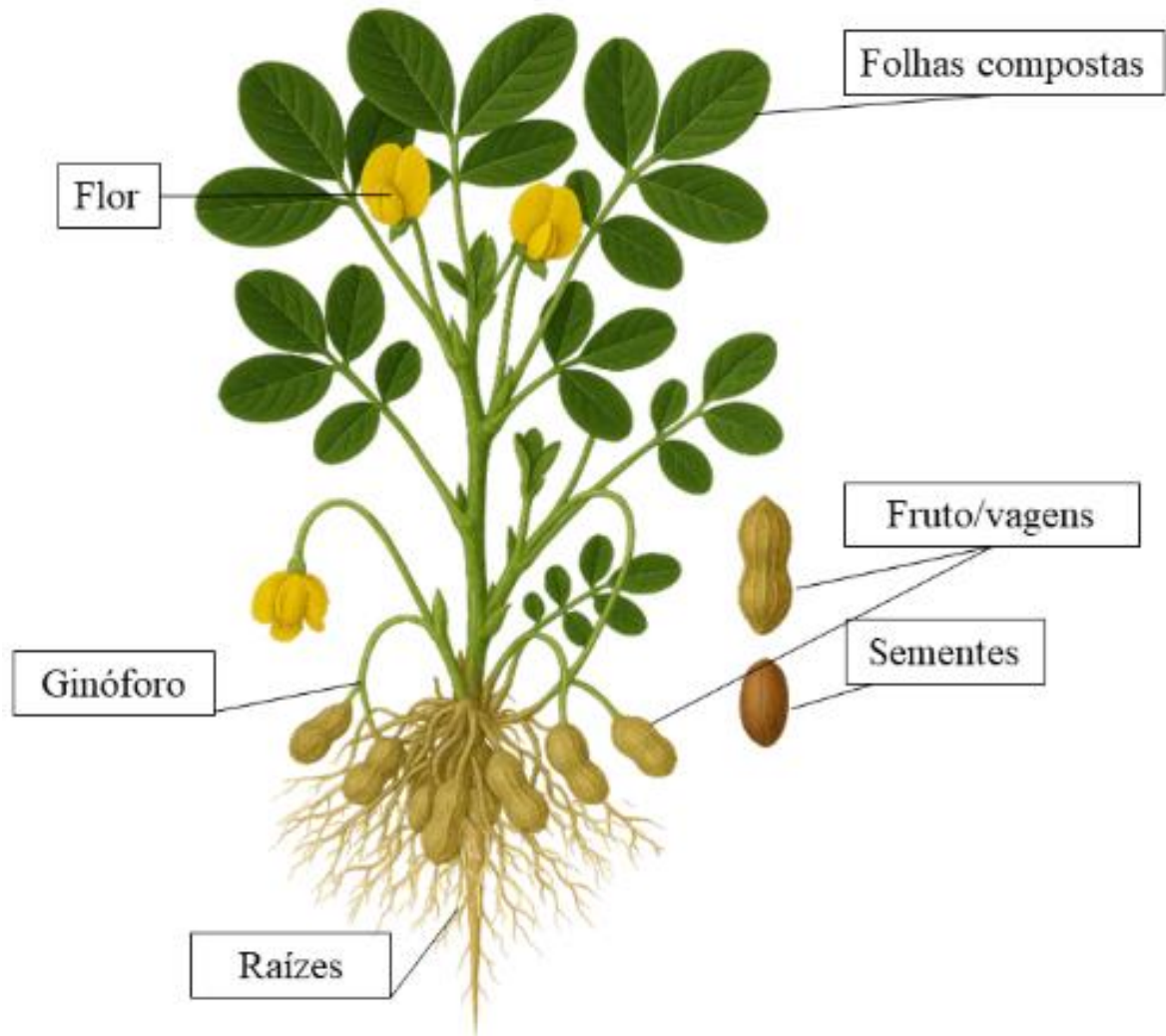
A parte aérea é composta por uma haste principal, com ramos primários, secundários e terciários. Nas variedades de porte ereto, a haste principal cresce verticalmente, podendo atingir de 50 a 60 cm de altura. Já nas variedades rasteiras, a haste é curta, de 20 a 30 cm, com ramos que se espalham pelo solo, emitindo gemas reprodutivas alternadas (Godoy et al., 2005). As

folhas são alternas, compostas por quatro folíolos ovalados e dispostos em pares, com pecíolos longos (Centurion, 1998).

Apresentam flores amarelas e nascem nas axilas das folhas, agrupadas em inflorescências de duas ou mais flores, que se abrem uma por vez ao longo do ramo principal ou secundário (Conagin, 1995). A reprodução do amendoim ocorre predominantemente por autopolinização, com florescimento entre quatro e seis semanas após a semeadura (Conagin, 1995). Após a fecundação, forma-se o ginóforo, que apresenta geotropismo positivo e penetra no solo, estabelecendo-se a uma profundidade de 5 a 10 cm, em que os frutos se desenvolvem, caracterizando um processo denominado geocarpia (Godoy et al., 2005).

Os frutos do amendoim são vagens indeiscentes, uniloculadas e estranguladas, com casca representando de 25 a 30% do peso total. As sementes, principais estruturas de interesse econômico, têm tegumento de coloração variada, podendo ser branco, rosa, vermelho ou negro (Santos et al., 2009).

Figura 5. Estruturas morfológicas da planta do Amendoim.



Fonte: Adaptado de Wikihmong (2022).

De acordo com Boote (1982), os estágios de desenvolvimento da cultura do amendoim foram classificados e agrupados, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Fases de desenvolvimento da cultura do amendoim adaptado de Boote, 1982.

Estádio	Descrição abreviada	Descrição
Estágios vegetativos		
VE	Emergência	Cotilédones perto da superfície do solo, com partes da plântula visíveis.
V0		Cotilédones achatam e abrem na ou sob a superfície do solo.
V1 a VN	1 a enésima folha composta	Um a N nós desenvolvidos na haste principal (um nó é contado quando sua folha tetrafoliada está aberta ou desdobrada e seus folíolos estão planos).
Estágios reprodutivos		
R1	Início da floração	Uma flor aberta em qualquer nó da planta.
R2	Início da formação de “ginóforos”	Um ginóforo alongado.
R3	Início da formação de vagens	Um ginóforo na terra com o ovário virado e inchado, com pelo menos duas vezes a largura do ginóforo.
R4	Vagens cheias	Uma vagem totalmente expandida nas dimensões características da cultivar.
R5	Início da formação das sementes	Uma vagem expandida, na qual o crescimento do cotilédone da semente é visível quando cortada em seção atravessada com uma lâmina (passada a fase de endosperma líquido).
R6	Semente cheias	Uma vagem com cavidade aparentemente preenchida pelas sementes quando fresca.
R7	Início da maturação	Uma vagem mostrando a coloração natural visível ou com manchas no pericarpo ou testa.
R8	Maturação para colheita	2/3 a 3/4 de todas as vagens desenvolvidas mostrando coloração do pericarpo ou testa.
R9	Vagens acima do ponto de maturação	Uma vagem não danificada mostrando a coloração laranja-bronzeado da testa ou com deterioração natural do ginóforo.

Fonte: Boote (1982).

2.3 Fatores que afetam a produtividade

2.3.1 Disponibilidade hídrica

Na agricultura irrigada, compreender as necessidades hídricas das culturas é essencial. O volume de água consumido por uma planta está diretamente condicionado à demanda energética da atmosfera, à quantidade de água disponível no solo e à capacidade da planta de resistir à perda de água para o ambiente. Portanto, mediante ao estudo realizado por Allen et al., 1998, o manejo adequado deve ser realizado com base em dados climáticos locais, obtendo a evapotranspiração da cultura (ET_c), adotando-se como base a evapotranspiração de referência (ET_0) estimada diariamente pela equação de Penman-Monteith e o coeficiente de cultura (K_c).

Dessa maneira, dominar os conceitos de evapotranspiração da cultura (ET_c) e do coeficiente de cultivo (K_c) tornam-se fundamentais para garantir uma irrigação eficiente, afinal como esses valores variam conforme as condições climáticas locais, a variedade da cultura e seu estágio de desenvolvimento, o uso de dados regionalizados é crucial para o manejo hídrico adequado (Bastos et al., 2008).

De modo geral, a literatura apresenta diferentes faixas de disponibilidade hídrica para a cultura, indicando que o amendoim necessita, ao longo de todo o ciclo, de uma precipitação entre 500 e 700 mm (Doorenbos e Kassam 1979; Ahmad, 1999). Baldwin e Harrison (1996) constataram uma faixa de necessidade hídrica entre 508 e 635 mm. Enquanto Costa (2023), dentro do cenário do agreste brasileiro, utilizando o método de estimativa da evapotranspiração de referência da Radiação solar correlacionado com o método Penman-Monteith (Food and Agriculture Organization), verificou a exigência de 503,80 mm de água durante todo o ciclo da planta.

Somando a isso, a deficiência hídrica representa um fator limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas, com efeitos mais severos durante a fase reprodutiva do amendoim. O estresse hídrico interfere diretamente em processos fisiológicos essenciais, como a fotossíntese e a transpiração. Além disso, a falta de umidade do solo constitui uma barreira mecânica à penetração dos ginóforos, comprometendo a viabilidade dos óvulos e resultando em perdas de produtividade de até 43% nas vagens (Oliveira; Carrega; Faria, 2020).

2.3.2 Época de semeadura

A época de plantio pode ser definida por meio de um conjunto de fatores ambientais que, além de afetar a produtividade, podem interferir também na estrutura morfológica da planta e no seu desenvolvimento. A semeadura em períodos inadequados pode causar grandes reduções no rendimento de vagens e grãos, afetados por alterações na altura da planta, no número de ramificações, no diâmetro do caule e no acamamento (Peixoto et al., 2008).

De acordo com Peixoto et al. (2002), ao escolher uma determinada época de semeadura o produtor está optando por uma certa combinação entre a fenologia da cultura e os elementos do clima na região de produção que poderá resultar em um rendimento dentro do esperado ou não. Diante disso, é proposto que para minimizar o efeito desses fatores seja implementada tecnologias ligadas a adoção de um conjunto de diversas práticas de manejo como o plantio mecânico em linhas, o adensamento de plantas dentro das linhas e épocas de plantio em diferentes estações do ano permitindo que a comunidade de plantas apresente um melhor aproveitamento possível dos recursos ambientais com efeitos direto nos rendimentos de vagens e grãos.

Nas regiões do Sudeste e Sul, a semeadura é comumente feita em duas épocas bem estabelecidas: a popularmente conhecida como safra das águas, correspondendo aos plantios realizados nos meses de outubro/novembro, por demonstrar alta adaptabilidade morfológica e fisiológica (Gonzales, 2023); e por último, a conhecida safra da seca, que representa os plantios realizados no mês de março (Gonçalves, 2004). Enquanto no Nordeste, nas regiões de Alagoas, Pernambuco e Sergipe, geralmente a semeadura ocorre no início do período chuvoso, entre os meses de abril e maio (Oliveira et al., 2011).

2.3.3 Densidade de plantas

Assim como a época de plantio, a densidade de plantas por hectare tem interferência direta no rendimento da cultura, que por sua vez, pode ser determinada pelo espaçamento de plantio. Todavia, a produtividade cresce de acordo com o aumento da população de plantas, até atingir um ponto em que haja tanta competição por luz, nutriente e água, que o desenvolvimento das plantas fica limitado (Santos; Costa, 1996).

Mediante ao que foi proposto por Silveira et al. (2010), com mais pesquisas e investimentos relacionados à distribuição de plantas na área, adequando a densidade, pode contribuir para desempenhar melhores resultados em relação à competição contra plantas

daninhas e facilitando a atuação de práticas agrícolas na área, aumentando as possibilidades de desenvolvimento desta oleaginosa.

De acordo com Ruiz et al. (2022), avaliando os espaçamentos de 5, 10, 15 e 20 plantas m^{-1} , constataram que quanto maior o número de plantas por metro, maior seria a produtividade de vagens, produtividade de grãos e massa de 100 grãos. No estudo de Teodoro et al. (2025), estudando a relação da densidade de plantio e tipo de cultivar com o rendimento de óleo, observou-se que, na densidade de 166.666 plantas ha^{-1} para a cultivar Criola obteve-se o maior rendimento de óleo, chegando a 41%.

2.4 Modelos agrometeorológicos

A modelagem agrometeorológica é proveniente da área do conhecimento denominada análise de sistemas Essa abordagem, conforme definido por Dourado Neto (1998), refere-se à organização de atributos de interesse, com o objetivo de conceituar, integrar e generalizar o conhecimento científico por meio da simulação da realidade. Nesse sentido, resulta em uma ferramenta útil para a análise de cenários diversos.

Na agricultura de precisão, o uso de modelos de simulação do crescimento e da produção das culturas representa um instrumento de grande relevância, pois permite a transferência do conhecimento científico para produtores e profissionais da área. Um exemplo é o emprego de modelos de previsão de safra, que podem contribuir para a obtenção de melhores resultados e a redução de custos de produção (Zhao et al., 2019; Avadhani et al., 2019). Além disso, a aplicação destes modelos tem se tornado cada vez mais presente, mediante aos atuais cenários de mudanças climáticas, nos quais as culturas podem apresentar alterações morfológicas que são refletidos na produtividade (Lecerf et al., 2019).

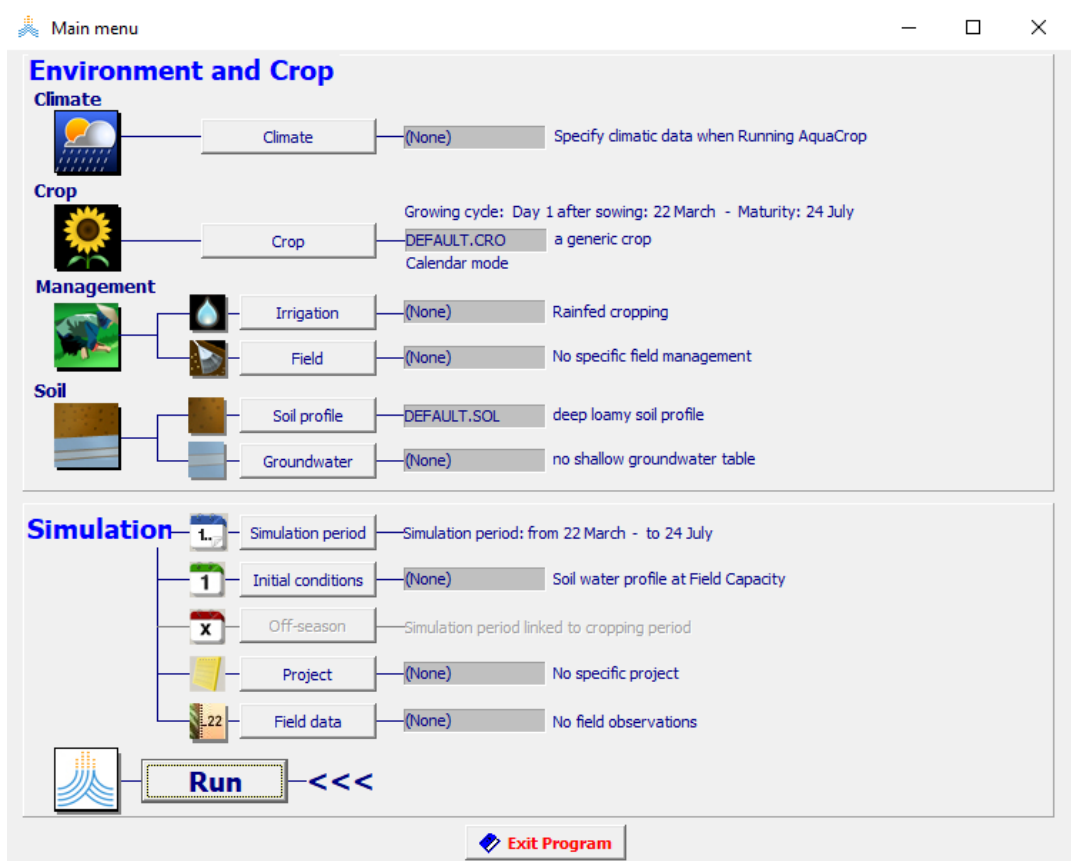
De acordo com Vianna (2017), os modelos podem se classificar como mecanísticos e empíricos, em que os mecanísticos são considerados mais robustos e em condições ambientais e de contorno mais amplas são mais aplicáveis, por terem seu desenvolvimento baseado nos mecanismos em função dos eventos que regem o sistema; enquanto os modelos empíricos tem como principal objetivo reunir as relações entre os componentes do sistema com o intuito de tornar sua aplicação mais específica às condições de contorno sem caráter explanatório dos fenômenos.

2.4.1 Modelo AquaCrop

O AquaCrop é baseado no princípio proposto por Doorenbos e Kassam (1979), que demonstra que há uma direta relação entre o consumo de água pela planta e a produtividade da cultura. Desenvolvido pela FAO, tem como objetivo atingir um equilíbrio entre precisão, confiabilidade e simplicidade ao estimar a como as culturas reagem à demanda por água (Raes et al., 2009).

Para garantir que o modelo seja utilizado globalmente, em comparação a outros modelos, o AquaCrop possui uma quantidade menor de parâmetros de entrada, além de uma facilidade na obtenção destes parâmetros em campo, tornando a sua utilização relativamente simples (Raes et al., 2009). De acordo com Barikara et al. (2022), o software possui seis arquivos de entrada para simulação: climático, cultura, solo, gerenciamento de campo, irrigação e condições hídricas iniciais do solo. Desse modo, no arquivo de cultura existem parâmetros conservativos e não conservativos (Figura 6).

Figura 6. Layout do menu dos parâmetros de entrada do modelo AquaCrop versão 6.1.



Fonte: Adaptado de Steduto et al. (2009)

O AquaCrop apresenta uma particularidade, por fazer uma separação na ET_c em transpiração (T_r) e evaporação (E), representando respectivamente o consumo de água

produtivo e não produtivo, garantindo uma simplificação na estimativa do crescimento e senescência do dossel, no acúmulo de biomassa e produtividade da cultura (Steduto et al., 2009; Raes et al., 2009).

Nas plantas, a transpiração e a captação de CO₂ ocorrem nos estômatos, onde o CO₂ é utilizado na produção de carboidratos por meio de processos fotossintéticos, ou seja, a transpiração é proporcional à produção de biomassa (Steduto et al., 2009; Vanuytrecht et al., 2014). Sendo assim, o funcionamento do modelo AquaCrop é baseado conforme a equação 1:

$$B = WP^* \sum T_r \quad (1)$$

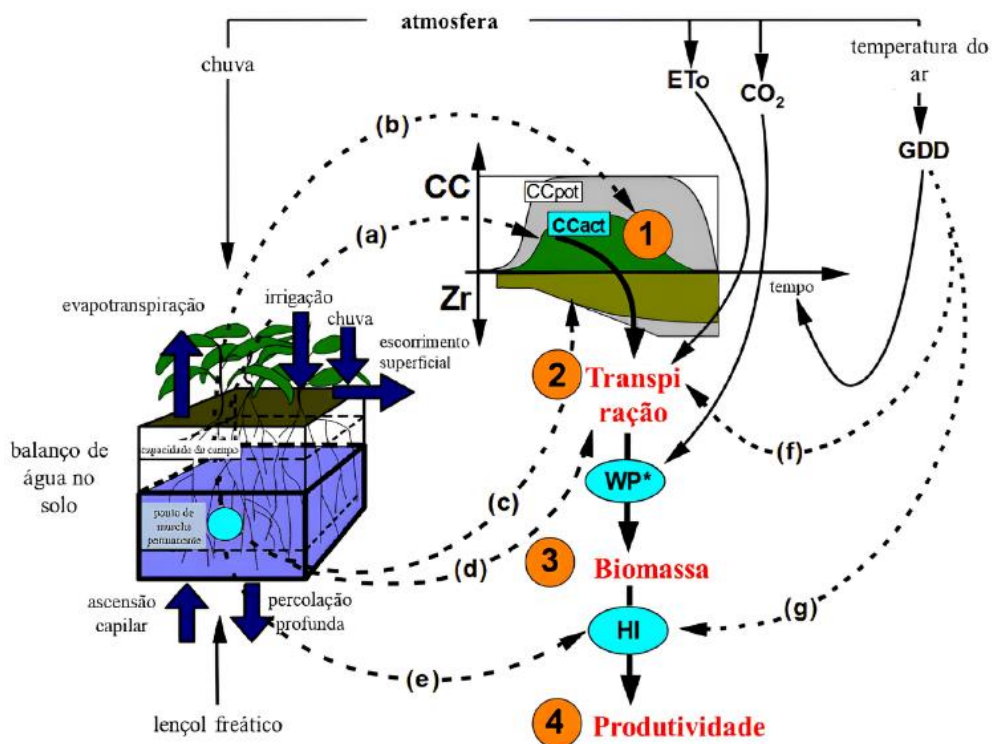
em que, B é a biomassa da parte área (t h⁻¹), WP* é a produtividade da água normalizada (kg m⁻²) e $\sum T_r$ é o somatório da transpiração da cultura ao longo do seu ciclo (mm).

De acordo com Arumugounder et al. (2022), o AquaCrop utiliza valores de produtividade da cultura baseados em água, ajustados para condições climáticas como a evapotranspiração de referência (ET₀) e a concentração de CO₂, para simular o crescimento das plantas. Como mostrado na Equação 2:

$$WP^* = \left[\frac{B}{\sum \left(\frac{T_r}{ET_0} \right)} \right]_{[CO_2]} \quad (2)$$

A simulação do desenvolvimento durante o ciclo e produtividade final da cultura é realizada a partir de um processo de quatro etapas, que são elas: (I) crescimento da cobertura do dossel (CC), (II) transpiração da cultura, (III) acúmulo de biomassa e (IV) produtividade (Y) (Steduto et al., 2012). Todo esse processo ocorre em escala diária, considerando os parâmetros de entrada do modelo (Nunes, 2022), como ilustrado na Figura 7.

Figura 7. Procedimentos realizados pelo modelo AquaCrop nas 4 etapas e processos (setas pontilhadas) afetados pelo estresse hídrico (a - e) e estresse por temperatura (f - g). Z_r é a profundidade de enraizamento. O estresse hídrico: (a) retarda a expansão do dossel, (b) acelera a senescência do dossel, (c) diminui o aprofundamento da raiz, mas apenas se severo, (d) reduz a abertura estomática e a transpiração e (e) afeta o índice de colheita (IC) (IC é citado no modelo como HI; acrônimo em inglês para harvest index). Enquanto, o estresse de baixa temperatura (f) reduz a transpiração da cultura, e o estresse por temperatura quente ou fria (g) inibe a polinização e reduz o IC.



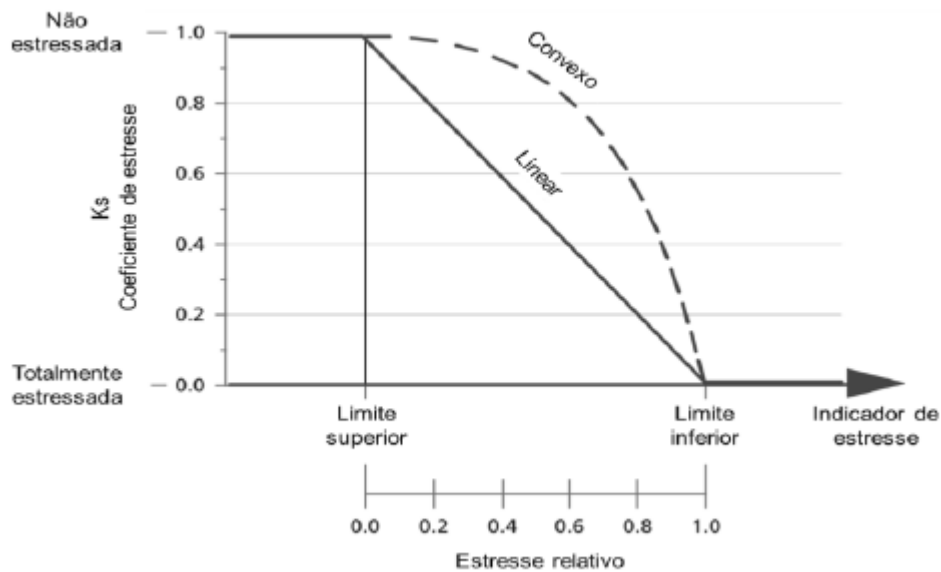
Fonte: Adaptado de Raes (2017).

Estudos feitos por Chibarabada et al. (2020) consideram o AquaCrop a nível de dossel, por simular o desenvolvimento da cultura através da expansão e envelhecimento do dossel, condutância estomática e à senescência.

O software leva em consideração diversos tipos de estresse que são representados por coeficientes de estresse, que podem variar de 0 a 1 (Figura 8). No qual, indica o efeito e a intensidade do estresse em função da duração e do estágio que ocorre, podendo resultar na

redução da taxa de expansão do dossel, divergências na taxa de senescência, fechamento de estômatos e redução do índice de colheita (Steduto et al., 2012).

Figura 8. Relação entre nível de estresse estabelecido pelo usuário (estresse relativo) e coeficiente de stress (Ks) gerado no modelo AquaCrop. As relações podem ser lineares ou convexas.



Fonte: Adaptado de Steduto et al. (2012).

No cálculo de produtividade da cultura, o modelo AquaCrop utiliza o índice de colheita, que pode ser calibrado em função da duração e intensidade do estresse ambiental, e a ocasião em que ocorre (Steduto et al., 2009; Vanuytrecht et al., 2014) (Equação 3).

$$Y = f_{HI} HI_0 B \quad (3)$$

Em que Y é a produtividade ($t\ ha^{-1}$), f_{HI} é o multiplicador de estresse que calibra o índice de colheita (HI_0) para o índice de colheita real (HI).

O AquaCrop vem demonstrando um desempenho satisfatório nas simulações realizadas em pesquisas científicas em relação à cultura do amendoim, no qual o modelo foi calibrado e validado em condições de déficit hídrico em três ambientes da África do Sul apresentando um

bom desempenho na simulação da produtividade e evapotranspiração (Chibarabada et al., 2020); Suandana et al. (2023), constatou em seu estudo realizado na Indonésia a partir de um experimento que objetivou identificar o efeito da irrigação na cultura do amendoim em diferentes condições de irrigação (60%, 80%, 100% da capacidade de campo (CC) e irrigação padrão), comparando o crescimento e a produtividade real com a simulada, que resultou em uma previsão precisa do modelo em relação à cobertura do dossel no tratamento utilizando 80% da capacidade de campo. Entretanto, o modelo demonstrou imprecisão no parâmetro da ET_c nas simulações para biomassa e peso seco das vagens quando comparado aos resultados reais; Enquanto no estudo de Ramirez-Matailo et al (2023), que objetivou calibrar e simular a produtividade do amendoim utilizando o modelo como instrumento para tomada de decisão e estimar a capacidade produtiva em diferentes cenários e manejos na região do Equador, que resultou em um bom desempenho do modelo na simulação das variáveis de cobertura do dossel, biomassa e rendimento.

O software também obteve resultados satisfatórios na simulação para outras culturas como o milho (*Zea mays*), submetido ao efeito da irrigação suplementar e práticas de manejo da cultura, em afissolo no semiárido Sul do estado de Telengana (Índia) e em função das mudanças climáticas apresentando um bom desempenho, com eficiência de 91% e 73% para simulação da produtividade de grãos e produtividade hídrica, respectivamente, e está dentro dos limites aceitáveis (Barikara et al., 2022).

Para a soja (*Glycine max*), Barreira Jr et al. (2024) avaliou os impactos da irrigação com déficit regulado na região da Itália e os resultados indicaram que o modelo pode similar efetivamente os impactos do déficit na cultura, o algodão simulado para avaliar as respostas da produtividade da cultura às mudanças climáticas e adaptabilidade da data de semeadura na região da China, em que o modelo AquaCrop demonstrou boa aplicabilidade e pôde simular com precisão o crescimento e o rendimento da cultura (Li et al., 2024).

E para o sorgo (*Sorghum bicolor*), o AquaCrop foi calibrado e validado para simular a resposta da produtividade da cultura a diversas condições de déficit de irrigação em uma região semiárida no Kansas (Estados Unidos da América) em que ele se mostrou confiável na simulação do estado hídrico do solo, da biomassa de sorgo forrageiro e do rendimento de grãos (Fazel et al., 2023).

Mais atribuições em relação aos processos de simulação e funcionamento do modelo podem ser consultadas em um conjunto de três artigos (Steduto et al., 2009; Raes et al., 2009;

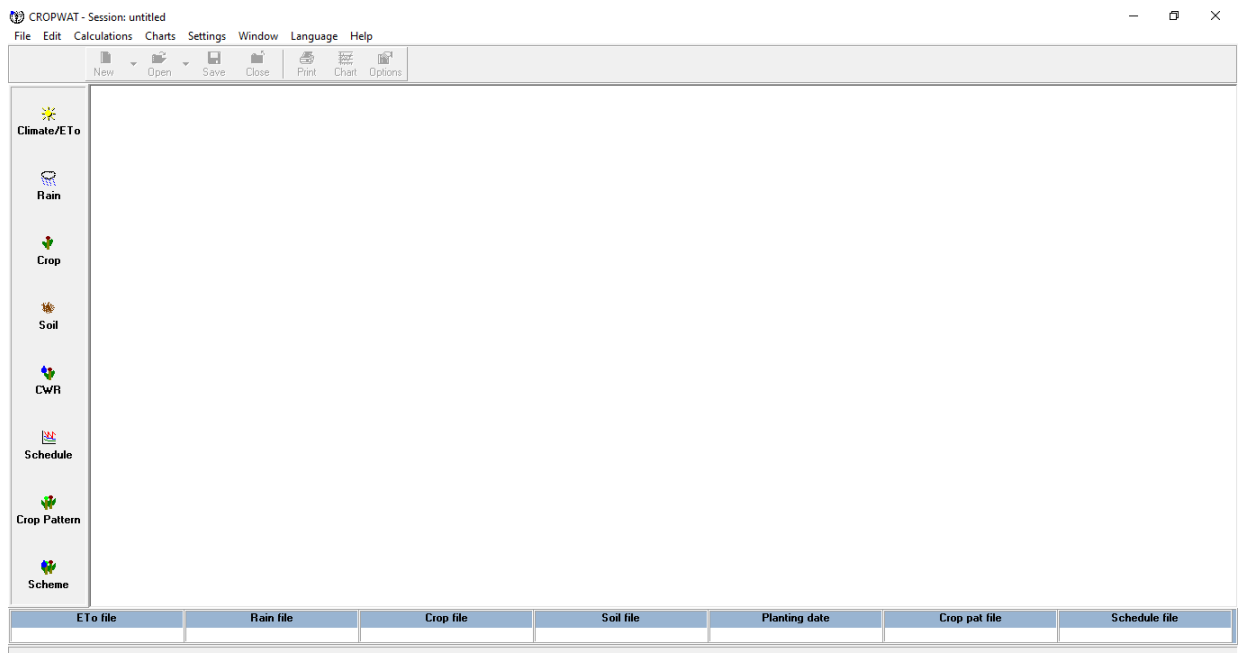
Hsiao et al., 2009), na publicação Irrigation and Drainage Paper N 66 intitulado “Resposta de rendimento da cultura à água” (Steduto et al., 2012) e no manual do modelo (Raes, et al. 2012).

2.4.2 Modelo CROPWAT

No manejo de irrigação de diversas culturas, é essencial que se tenha como base a necessidade de consumo de água diário, levando em consideração a capacidade de retenção de água dos diversos solos irrigados (Somani et al., 2025).

Com isso, o programa computacional CROPWAT (Figura 8), idealizado pela FAO, vem ganhando reconhecimento por otimizar a programação do calendário de irrigação, além de ser um instrumento de apoio para calcular as necessidades hídricas das culturas e simular balanço de água no solo, com base nos dados da cultura, do solo e do clima local, possibilitando uma melhor eficiência no uso da água e na produtividade das culturas (Yaismin et al., 2025; Pereira et al., 2020; Muroyiwa et al., 2022).

Figura 9. Layout do modelo CROPWAT.



Fonte: FAO, 2025.

Toda metodologia de cálculos propostas no modelo são baseadas nas publicações de Allen et al. (2006) na série da FAO Irrigação e Drenagem n° 56 "Evapotranspiração da cultura

- Diretrizes para a determinação de necessidades de água da colheita" e n° 33 intitulada "Resposta da produção à água".

Conforme afirmado por Deveci et al. (2025), para calcular a ET_0 o programa utiliza o método FAO Penaman-Monteith (Allen et al., 1998), fornecendo valores precisos e confiáveis, em que leva em consideração as condições atmosféricas. Como proposto na equação 4.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1+0.3442)} \quad (4)$$

Em que, R_n consiste na radiação líquida no dossel da cultura em $MJ m^{-2} dia$, G consiste no fluxo de calor no solo, também em $MJ m^{-2} dia$, T , consiste na temperatura média diária do ar $^{\circ}C$, u_2 que é a velocidade do vento, expressa em m/s , e_s que é a pressão de vapor de saturação, em kPa , e_a é a pressão real de vapor, também em kPa , $e_s - e_a$, consiste no déficit de pressão de vapor de saturação em kPa , Δ , consiste na inclinação da curva de pressão de vapor, em $kPa ^{\circ}C^{-1}$, γ , é a constante psicrométrica, também em $kPa ^{\circ}C^{-1}$.

Para estimar a necessidade hídrica da cultura, que consiste na quantidade de água equivalente à que é perdida em um campo cultivado através da evapotranspiração (Allen et al., 1998), expressa em $mm dia^{-1}$, o CROPWAT utiliza a seguinte equação:

$$ET_C = K_C * ET_0 \quad (5)$$

Em que ET_C consiste na evapotranspiração da cultura ($mm dia^{-1}$), K_C é o coeficiente da cultura e a ET_0 representa a evapotranspiração de referência ($mm dia^{-1}$).

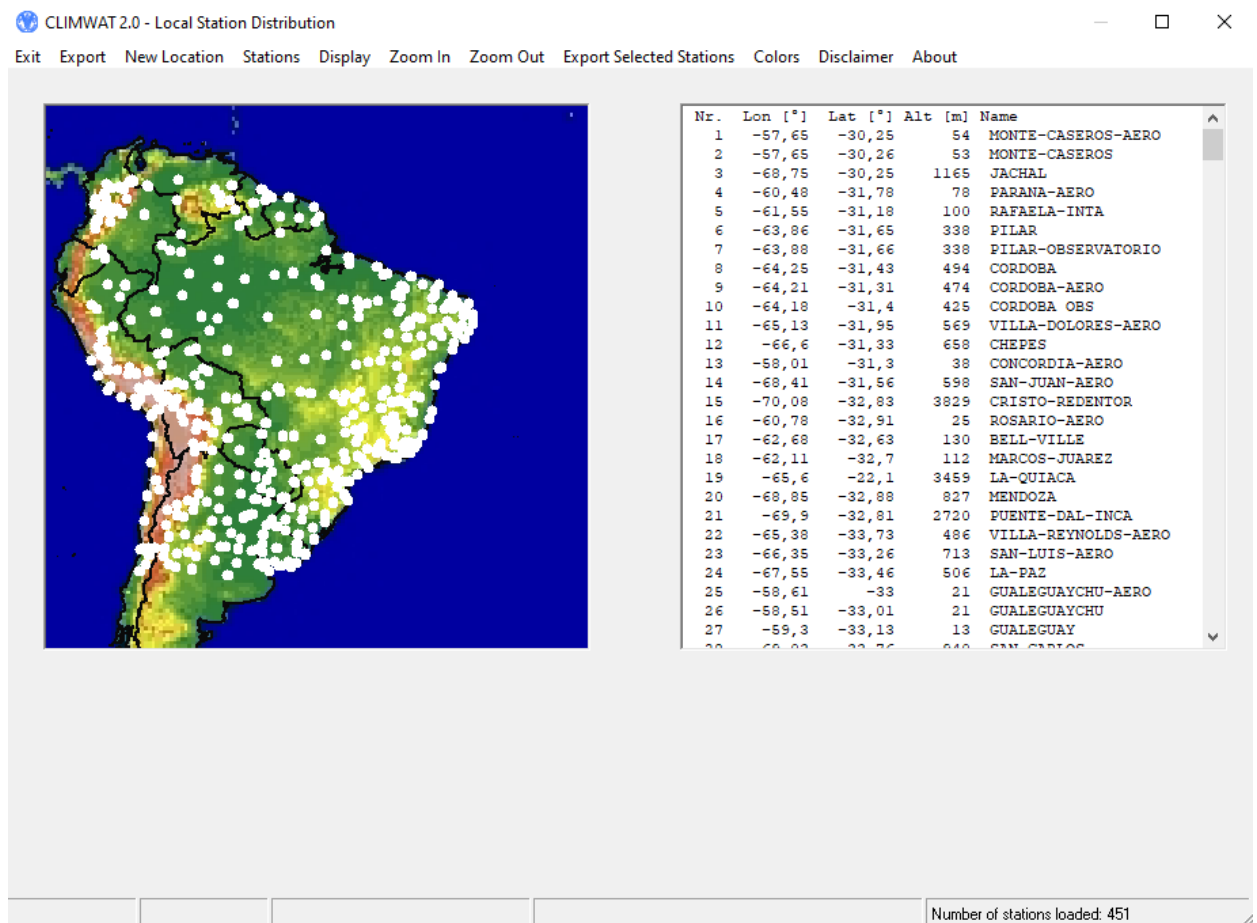
O volume de água que precisa ser fornecido à cultura por meio da irrigação (IWR) pode ser calculado a partir da equação 6.

$$IWR = ET_C - P_{eff} \quad (6)$$

Em que, IWR é a necessidade de irrigação (mm dia^{-1}), a ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}) e P_{eff} a precipitação efetiva (mm dia^{-1}).

O CLIMWAT, que consiste em um banco de dados climáticos, que pertence ao conjunto CropWat para caso não exista dados climáticos locais disponíveis, o software disponibiliza dados de mais de 5.000 estações em todo o mundo (Figura 10). O CLIMWAT fornece valores médios mensais de longo prazo dos seguintes parâmetros: temperatura máxima diária média, temperatura mínima média, umidade relativa média, velocidade média do vento, horas médias de sol, radiação solar média, precipitação mensal e precipitação efetiva (FAO, 2018).

Figura 10. Layout do software CLIMWAT for CROPWAT.



Fonte: FAO, 2025.

Pesquisas realizadas mundialmente com o CROPWAT têm demonstrado um bom desempenho no cálculo do consumo de água e a necessidade de água para a irrigação de culturas como o trigo (*Triticum aestivum*), sorgo (*Sorghum bicolor*) e algodão (*Gossypium hirsutum*)

em áreas do Sudão, onde o modelo foi considerado benéfico no planejamento e gerenciamento de sistemas de irrigação com um grau significativo de confiança (Khan et al., 2021).

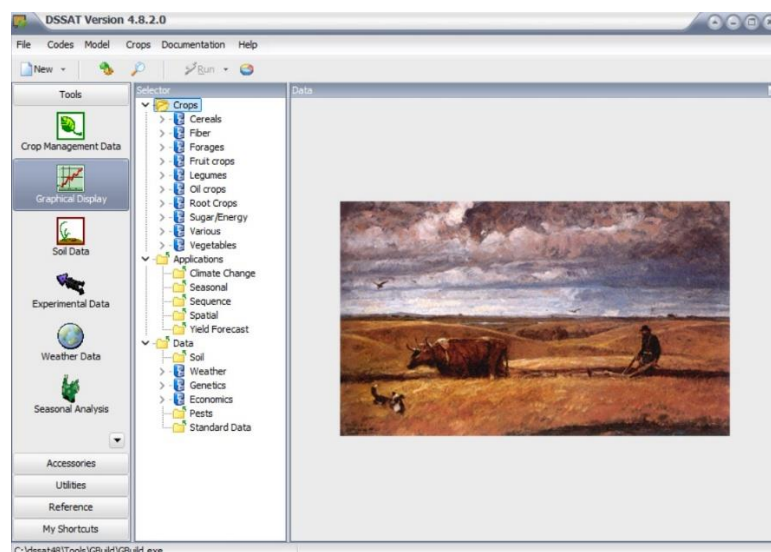
Para a cultura do milho (*Zea mays*), na província de Heilongjiang, na China, demonstrou utilidade em conjunto com práticas agrônômicas aumentando a eficácia no uso da água (Nie et al., 2023); e para a cultura da soja (*Glycine max*) também na província de Heilongjiang (China), demonstrou sucesso ao simular cenários futuros para a cultura (Li et al., 2022).

Enquanto para a cultura do amendoim, ainda existem poucos trabalhos para a estimativa da demanda hídrica da cultura na literatura. Apenas o trabalho de Ray et al. (2023), em que o modelo permitiu estimar a necessidade hídrica da cultura e seu cronograma de irrigação durante a temporada de rabi no sul de Odisha na Índia.

2.4.3 Modelo DSSAT - Decision Support System for Agrotechnology Transfer

O Sistema de Apoio à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT, na sigla em inglês *Decision Support System for Agrotechnology Transfer*), consiste em um conjunto de softwares robusto, projetado para modelar o crescimento e a produtividade aplicados a diversas condições ambientais e de manejo (Patil, 2019). De acordo com Ahmed et al. (2022) o DSSAT, foi idealizado através da iniciativa *International Benchmark Sites Network* por um grupo de pesquisadores, no fim da década de 1980, com o intuito de abordar a gestão de recursos e os desafios na produção agrícola (Figura 11).

Figura 11. Layout geral do DSSAT.



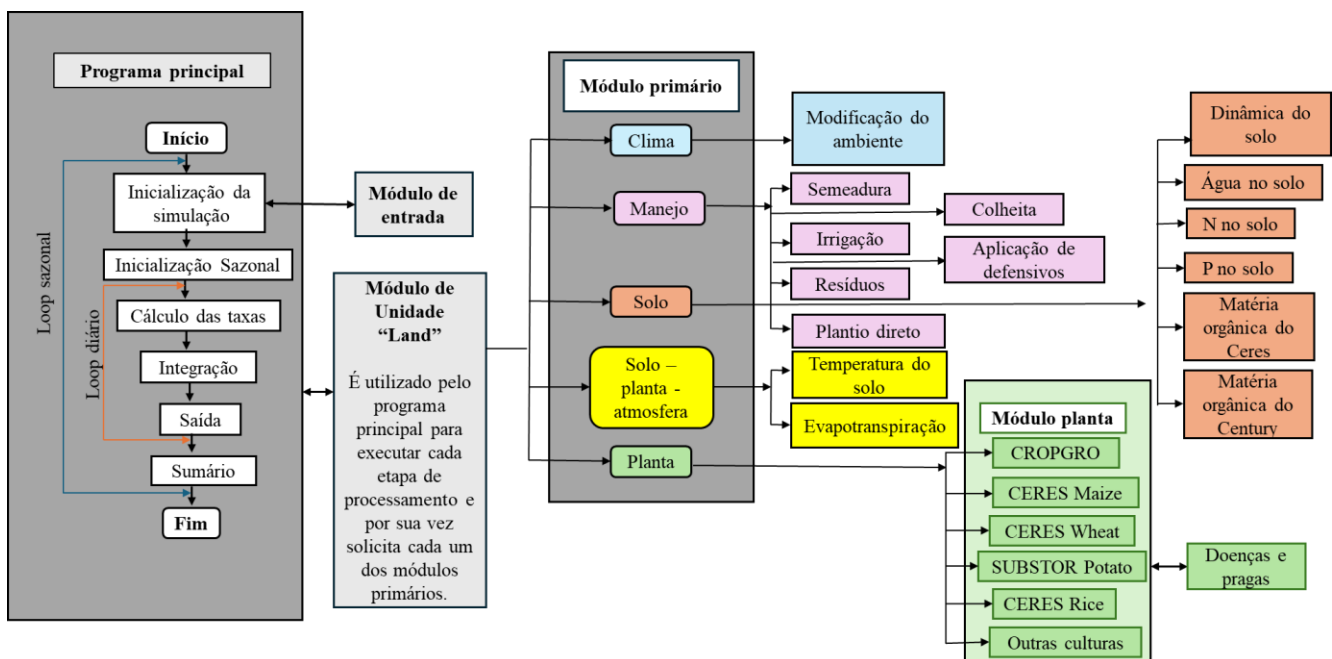
Fonte: Jones et al., 2010.

O DSSAT pode ser utilizado para produzir dados estocásticos em relação à produtividade para diferentes culturas, com o objetivo de ser aplicado na decisão direta das estratégias de produção, foi desenvolvido com uma estrutura que possibilita sua manutenção e a capacidade de incluir componentes adicionais para simular sistemas de cultivos em diferentes condições (Jones et al., 2017).

Composto por uma coleção de programas independentes que se relacionam entre si, os módulos primários, constituídos por solo, clima e planta, responsáveis por simular individualmente todos os processos, como, por exemplo, o tempo, crescimento das plantas, processos presentes no solo, práticas ambientais entre solo-planta e manejo; já os submódulos, são considerados adicionais aos módulos primários, como CROPGRO, nitrogênio, irrigação, doenças e pragas (Jones et al., 2010), como pode ser observado na Figura 12.

De acordo com Jones et al. (2010), cada módulo possui seis etapas operacionais, em que o programa principal controla o tempo dos eventos do início e término da simulação, início e fim da safra, assim como os ciclos de tempo diário (Figura 12). Possibilitando que cada módulo analise suas próprias entradas, inicie o processo, calcule as taxas, incorpore as variáveis pertinentes ao estudo e projete saídas de maneira independente das ações dos outros módulos.

Figura 12. Esquema geral dos componentes e estrutura modular do CSM-DSSAT.



Fonte: Adaptado de Jones et al., 2010.

O software aborda 42 culturas, podendo ser utilizado para simular os efeitos das práticas de manejo como a população de plantas, cultivar, data de semeadura e no rendimento das culturas (Abayechaw, 2021). É composto por 28 modelos de culturas, utilizados por meio de um instrumento que visa facilitar a confecção e gestão de arquivos de dados de campo, de solo e clima. O modelo de sistema de cultivo pode simular o crescimento e desenvolvimento das culturas ao longo do seu crescimento, como também quantificar a água no solo, processos de carbono e práticas de manejo (Jones et al., 2003; Hoogenboom et al., 2021).

Na plataforma, os dados de solos que vêm inclusos representam solos dos Estados Unidos, onde o programa foi criado, contudo, existe a possibilidade de cadastrar dados de solos (químicos, físicos e estruturais) no banco de dados. No software, o submódulo CROPGRO é responsável por fazer a análise de todos os processos de crescimento da cultura, como por exemplo: fenologia, fotossíntese, nitrogênio na planta e a assimilação de carbono, particionamento de fotoassimilados, e danos como doenças e pragas. Além de possuir submódulos de fenologia específicos para algumas culturas (Jones et al., 2003; Hoogenboom et al., 2019; Hoogenboom et al., 2021).

De acordo com Irene Filho (2024), os modelos de cultivo necessitam de dados climáticos diários, informações de superfície e perfil do solo e manejo detalhado da cultura como insumos. As informações genéticas das culturas são definidas em um arquivo de espécies de culturas fornecido pelo próprio programa e informações de cultivares ou variedades devem ser fornecidas pelo usuário. As simulações são iniciadas no plantio ou antes do plantio através da simulação de um período de estabilização. Essas simulações são realizadas em uma etapa diária ou, em alguns casos, em uma etapa de tempo horária, dependendo do processo e do modelo de cultivo. Ao final de cada dia, são atualizados os balanços de água, nitrogênio, fósforo e carbono da planta e do solo, bem como o estágio de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura.

Estudos realizados ao redor do mundo utilizando o DSSAT em função da cultura do amendoim, no qual ele tem apresentado bons resultados, como evidenciado na pesquisa de Chen et al. (2025), o modelo CSM-CROPGRO-Peanut simulou com eficácia os processos de crescimento e desenvolvimento do amendoim e as mudanças dinâmicas na umidade do solo sob condições de irrigação por gotejamento com plástico filme e aplicação de nitrogênio em Xinjiang, na China. De acordo com o estudo de Thirumeninathan et al. (2021), que objetivou avaliar o desempenho do modelo aplicado a cultura do amendoim nas zonas agroclimáticas do norte de Tamil Nadu (Índia), o modelo provou ser um instrumento valioso e eficaz na previsão

da produtividade da cultura. No Mediterrâneo Oriental da Turquia, com o intuito de avaliar a produtividade da água em diversos regimes de irrigação durante as temporadas de cultivo de amendoim, de modo geral o modelo apresentou um desempenho razoavelmente bom, também demonstrando que o DSSAT é uma ferramenta de agricultura de precisão para a extrapolação da alocação de recursos hídricos de irrigação e para o gerenciamento de decisões sob o clima atual e futuro (Sezen et al., 2022).

Também foram realizados estudos com o software DSSAT para diversos cenários e cultivares demonstrando bons resultados como, por exemplo, na cultura do milho (*Zea mays*), o desempenho do DSSAT 4.8 demonstrou potencial adequado como um instrumento para simular o ciclo de desenvolvimento, o crescimento e a produtividade de híbridos de milho, bem como para investigar os impactos das mudanças climáticas e propor estratégias adaptativas para o vale do Rifte centro-sul da Etiópia, tanto no presente quanto no futuro (Markos, et al., 2023).

Enquanto, o algodão (*Gossypium hirsutum*), em Tamil Nadu na Índia onde o modelo CROPGRO teve seu desempenho considerado bom na simulação da fenologia sob diferentes níveis de nitrogênio e demonstrou sucesso para simular o crescimento e a produtividade da cultura (Khatua, et al., 2023).

E para a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*), o modelo DSSAT CERES – Sorghum apresentou um bom desempenho na simulação da fenologia e na produção de genótipos, nesse sentido, o modelo apresenta um desempenho satisfatório para ambientes de sequeiro e pode ser utilizado para aplicação na gestão de recursos naturais e de clima nos distritos de Viruthunagar e Thoothukudi, em Tamil Nadu na Índia (Sabarinathan, et al., 2023).

2.5 Variáveis de entrada

2.5.1 Variáveis meteorológicas

O clima de uma determinada região pode chegar a afetar em 50% a produção agrícola (Pereira et al., 2002). Com isso, de acordo com De Castro et al. (2021), o planejamento pode variar de acordo com todas as características de uma propriedade, ou seja, os fatores meteorológicos influenciam diretamente nos planejamentos, como, por exemplo, o preparo de solo e a data de plantio são programados em função da precipitação; as cultivares a serem

escolhidas são em função das condições climáticas; e o controle fitossanitário realizado em função da umidade, temperatura e o vento.

De acordo com Puppala et al. (2023), as temperaturas adequadas para o crescimento e produtividade da cultura do amendoim estão na faixa de 25 a 30°C. Conforme avaliado por Prasad (2003), temperaturas acima de 35°C podem reduzir drasticamente o número de vagens por planta. Assim, o método usado para avaliar a relação da temperatura com o desenvolvimento e/ou crescimento das plantas é o de graus-dia acumulados. Marin et al. (2006), constataram que para o grupo botânico Valência, apresentou um valor acumulado de 1712 GD e para o grupo botânico Virginia, apresentou um valor de 1930 GD.

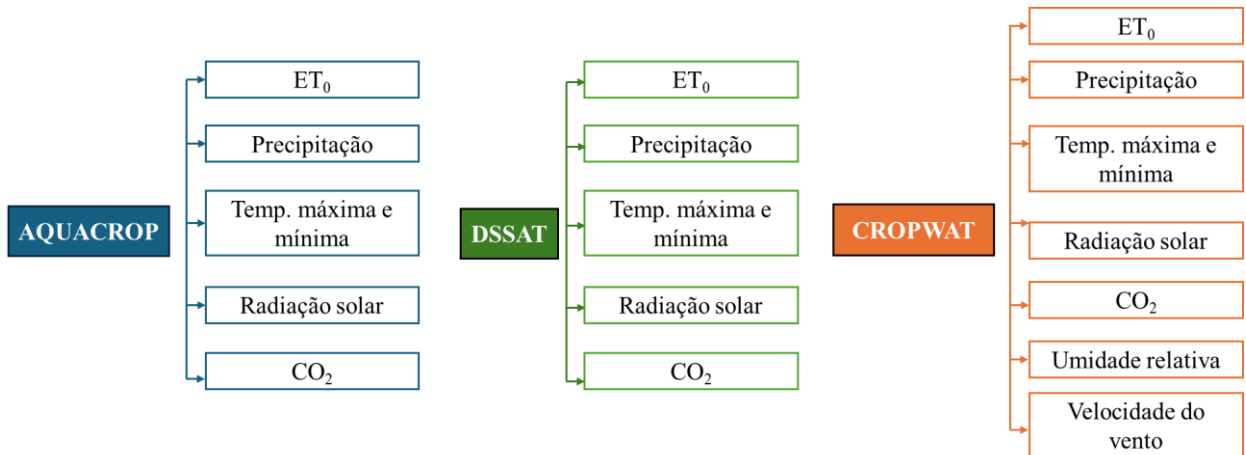
Já a radiação solar, sendo uma pertencente de grande importância do balanço energético que está diretamente relacionado aos processos de evapotranspiração, transporte de água e nutrientes nas plantas e, a partir disto, afetando também o rendimento das culturas (Baur et al., 2024). Porém, de acordo com Dos Santos et al. (2021), para as plantas do amendoim, em condições de campo a luz não é considerada um fator limitante para a fotossíntese, entretanto quando as extremidades dos ginóforos são expostas a luz pode gerar um desenvolvimento anormal dos frutos. Dentre os fatores ambientais que limitam a fotossíntese, o dióxido de carbono (CO₂) destaca-se como um dos mais importantes, ao lado da luminosidade e da temperatura. Para uma mesma temperatura, a taxa fotossintética tende a aumentar com o acréscimo da intensidade luminosa, e, de forma semelhante, eleva-se com a temperatura quando a luz é constante. Esse processo, no entanto, é altamente dependente da disponibilidade de CO₂. Quando a concentração de CO₂ atinge um nível no qual a taxa de fotossíntese não pode mais aumentar, diz-se que a planta alcançou o ponto de saturação de CO₂ (Salisbury et al., 2012).

A época de precipitações mais elevadas é responsável por suprir a necessidade de água na agricultura, porém devido a irregularidade de chuvas que existem em alguns períodos de estiagem conhecidos como veranicos, que podem ser frequentes em regiões tropicais, causando prejuízo aos agricultores de forma a impactar diretamente na safra de várias culturas (De Medeiros et al., 2022). Diante disso, a cultura do amendoim durante seu desenvolvimento necessita de uma faixa de 500 a 700 mm (Doorenbos e Kassam 1979; Ahmad, 1999; Baldwin et al., 1996; Costa, 2023).

Como de acordo com Allen et al. (2006) a ET₀ é considerada a taxa de evapotranspiração de uma determinada cultura, tomando uma altura de 12 cm, resistência do dossel da cultura de 70 s m⁻¹ e albedo de 0,23. Sendo assim, uma variável meteorológica de extrema relevância por

ser um indicativo de necessidade hídrica do solo com vegetação biologicamente ativa (Pereira et al., 2007).

Figura 13. Variáveis meteorológicas de entradas nos modelos AQUACROP, CROPWAT e DSSAT.



Fonte: Autor, 2025.

2.5.2 Variáveis da cultura

Dentro das variáveis da cultura que podem ser utilizadas nos modelos agrometeorológicos, temos o Índice de área foliar (IAF) que consiste na razão entre a área foliar total, considerando apenas um lado das folhas do dossel, e a área do solo abaixo desse dossel (Pokovai et al., 2019). Em que, esses parâmetros são de suma importância para modeladores de culturas com o intuito de ampliar os processos de nível de folha e planta para o nível de copa (Novelli et al., 2019).

Entretanto, alguns modelos utilizam a cobertura do dossel, que consiste na representação da fração da superfície do solo que está coberta pela folhagem, que é impulsionada pela temperatura (graus-dia de crescimento), com isto, a cobertura do dossel aumenta desde o valor inicial na germinação até um valor máximo, que pode ser 1 caso a cobertura do dossel atinja 100% da superfície do solo (Raes et al., 2023).

A fenologia é um parâmetro caracterizado por representar as diferentes fases do crescimento e do desenvolvimento das plantas, é de suma relevância por caracterizar os estádios

fenológicos e as suas características morfológicas, durante o ciclo de vida da planta entre as fases do seu período vegetativo ao período reprodutivo (D'Oliveira et al., 2025).

O parâmetro da produtividade agrícola depende diretamente dos fatores que atuam sobre a cultura, como por exemplo o manejo, emprego de tecnologia, fertilidade do solo, fatores climáticos, genótipo da planta, entre outros (Calenga et al., 2021). De acordo com Battisti et al. (2018), existem dois tipos de produtividade, são elas a produtividade potencial e a atingível. Em que, a produtividade potencial consiste na produção máxima que pode ser alcançada por uma cultura sem restrições hídricas, nutricionais e ataque de pragas e patógenos (Battisti et al., 2011); já a produtividade atingível, consiste na máxima produtividade que pode ser atingida mas levando em consideração os fatores abióticos (Dallagnol et al., 2016).

O Índice de colheita é um parâmetro que pode ser determinado a partir da razão da produção de grãos secos pela produção de biomassa seca acima do solo, este componente pode ser diretamente influenciado pela densidade de plantio e época de semeadura além da disponibilidade hídrica, nutricional e a temperatura (Ferreira, 2023; Gomes Junior et al., 2018; Duarte et al., 2013; Oliveira, 2017; Fioreze et al., 2019).

2.5.3 Variáveis do solo

As variáveis do solo que podem ser utilizadas como dados de entrada nos softwares de modelagem agrometeorológica consistem na densidade do solo, que é considerada a razão da massa de uma amostra de solo seca, na unidade de gramas, e seu volume, que equivale aos seus sólidos mais poros, na unidade de centímetros cúbicos (Hillel, 1998). De acordo com estudos de Reichardt et al. (2004) e De Vos et al. (2005), a densidade do solo é considerada um indicador do grau de compactação tendo relação direta com o crescimento das raízes, além de afetar a movimentação e a retenção de água, sendo utilizada também na avaliação de estoques de carbono ou outros nutrientes.

A variável da capacidade de campo a priori definida por Veihmeyer e Hendrickson (1931), como a quantidade de água retida no solo após a saturação e drenagem livre por um ou dois dias, ou seja, consiste na quantidade de água armazenada no solo quando drenado livremente, deixando-a disponível para a cultura. Podendo ser determinada através do método da bacia de saturação, quando determinada em campo, ou por meio da mesa de tensão ou

extrator de Richards, em função das amostras coletas nas profundidades desejadas (EMBRAPA, 2016).

Já a variável ponto de murcha permanente, consiste no limite inferior de retenção de água no solo, ou seja, é o ponto onde as raízes das plantas deixam de ser capazes de absorver a água, causando a murcha. Sua determinação em campo é difícil, entretanto pode ser determinada em laboratório por meio da câmara de Richards, em função de amostras coletadas em campo (EMBRAPA, 2016).

Outra variável importante, é a Velocidade de Infiltração Básica (VIB), que é representada pelo volume de água percolado no solo por unidade de tempo (Brandão et al. 2006). A VIB tem a tendencia de reduzir ao passar do tempo até atingir um valor constante quando o solo está saturado (Silva et al., 2017). De acordo com Cunha et al. (2011), o infiltrômetro de anéis pode ser amplamente utilizado na determinação da Velocidade de Infiltração Básica, além de ser utilizado em dimensionamentos de sistemas de cultivos irrigados.

Por fim, a variável da granulometria do solo que consiste em uma análise subdividida em três etapas principais, a priori é realizada a aplicação de pré-tratamentos, objetivando a remoção de agentes cimentantes e floclulantes; após isto, é feita a dispersão da amostra de solo e, em seguida a quantificação das frações de solo (Ruiz, 2005). Por fim, a ruptura dos agregados do solo e a individualização dos particulados via energia mecânica e química, origina uma suspensão estabilizada, possibilitando a quantificação granulométrica (Donagemma et al., 2017). A análise granulométrica é de suma importância para determinação da distribuição das partículas do solo, o que influi no comportamento físico-hídrico (Santos et al., 2019).

2.5.4 Manejo da cultura

Mediante as variáveis de manejo cultura que podem ser utilizadas como parâmetros nos modelos, temos o manejo de irrigação que tem por definição sendo o conjunto de técnicas em torno do fornecimento de informações, que permitam ao irrigante definir quando e quanto de água fornecer as culturas que estão sendo exploradas, colaborando com que se obtenha um melhor desempenho genético, em função a otimização do uso do recurso hídrico disponível (Mantovani et al., 2009; Carvalho et al., 2012).

Também temos o manejo de plantas daninhas, que objetiva a redução nos prejuízos relacionados a produção por causa da interferência das plantas infestantes, além da redução das perdas na colheita (pela presença de impurezas), reduzindo o banco de sementes no solo e preservando o meio ambiente (Karam et al., 2002). A realização desse manejo de forma adequada é um fator determinante para assegurar altas produtividades, através da inibição da interferência negativa no crescimento e desenvolvimento das culturas (Papa et al., 2005).

Por fim, temos o parâmetro de manejo de adubação mineral, em que os elementos minerais, incluindo macro e micronutrientes, são de grande relevância para que as culturas completem seus ciclos de crescimento e produzam os rendimentos necessários para chegar no objetivo desejado (Guan et al., 2024).

2.6 Calibração e validação

A calibração do modelo consiste no ajuste parâmetros com o intuito de que os dados simulados se aproximem aos dados observados. Alguns erros podem surgir mediante a falhas na amostragem, no déficit de conhecimento sobre o sistema e quando o modelo é utilizado em uma situação que difere da qual foi desenvolvido (Condé, 2024).

A partir da calibração do modelo não é mais necessário ajustes para se adaptar às mudanças nas condições ambientais, portanto o processo de validação é responsável para identificar como todos os ajustes se refletem na produtividade final estimada pelo modelo (Rosa et al., 2023)

De acordo com o estudo de Nunes (2022), em que ele objetivou calibrar e testar o modelo AquaCrop para simular a fenologia, fração de cobertura do dossel, biomassa da parte aérea ao longo do ciclo, biomassa final, produtividade de vagens, índice de colheita e armazenamento de água no solo do amendoineiro sob irrigação plena (L1) e dois níveis de irrigações deficitárias (L3 e L5), a calibração do modelo AquaCrop para simular o desenvolvimento das cultivares de amendoim IAC 503 e IAC 505 foi realizada com base em dados experimentais sob condições de irrigação plena (tratamento L1, sem déficit hídrico), coletados ao longo de quatro ciclos de cultivo (2018 fev, 2018 mar, 2019 e 2020). Utilizou-se como base o arquivo de cultura do feijoeiro (Drybean.CRO), adaptado para gerar o arquivo específico do amendoim (PeanutIAC.CRO). A calibração iniciou-se com os dados do experimento de 2019, escolhido pela maior disponibilidade de variáveis biométricas, ausência de estresse hídrico e menor ocorrência de estresse térmico. Foram ajustados iterativamente os

coeficientes relacionados à fenologia, crescimento e senescência do dossel, índice de colheita e produtividade da biomassa, buscando minimizar os desvios entre os valores simulados e observados. Posteriormente, a calibração foi estendida para os demais ciclos com irrigação plena, e, para condições de déficit hídrico moderado (L3) e severo (L5), utilizando os dados de 2019. As fases fenológicas foram convertidas em graus-dia acumulados, considerando temperatura base de 12 °C. A validação do modelo foi conduzida com dados independentes (L3 e L5 dos ciclos de 2018 e 2020), sendo avaliadas variáveis como cobertura do dossel, biomassa ao longo do ciclo, biomassa final, índice de colheita, produtividade e armazenamento de água no solo.

Já Santos (2023), calibrou o modelo AquaCrop e avaliou diferentes épocas de semeadura de cultivares de soja em condição de sequeiro para o estado de Alagoas, a princípio foi realizada uma simulação para cada ano de cultivo sem qualquer modificação dos parâmetros do arquivo padrão para a cultura da soja, os resultados foram comparados com os dados experimentais, com isso, houve uma alteração nos parâmetros padrões do modelo com a finalidade de se obter resultados simulados que correspondessem aos dados experimentais observados em campo. O autor, calibrou o modelo em função de um processo iterativo de ajuste dos parâmetros, até que os resultados da simulação se aproximassem dos valores observados em campo.

Na pesquisa de Cazuza Neto (2022), teve como objetivo calibrar os coeficientes genéticos do modelo CSM-CROPGRO-Peanut para as cultivares IAC 503 e IAC 505, representativas do cultivo de amendoim no Brasil, bem como validar o modelo com dados independentes, com vistas à sua aplicação em simulações de longo período (2006 a 2020), a fim de orientar estratégias de manejo da irrigação em Jaboticabal-SP. A calibração dos coeficientes genéticos da nova cultivar IAC503-505 no DSSAT foi conduzida com dados de campo obtidos sob irrigação plena (ETc 100 %) em quatro épocas de cultivo (fevereiro/2018, março/2018, 2019 e 2020), seguindo o protocolo de Suriharn et al. (2007) e Boote et al. (1999). Elaborou-se o Arquivo SBX com informações de datas e densidade de semeadura, adubação, lâminas de irrigação e demais práticas de manejo, enquanto o arquivo de solo incorporou as propriedades físicas e químicas determinadas por Santos et al. (2019); o arquivo climático agregou as coordenadas do local e séries diárias de temperatura máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação de uma estação automática situada a 1 km da área experimental. Os dados experimentais foram organizados pelo ATcreat em arquivo tipo A (fenologia, biomassa aérea, produtividade e componentes de rendimento na maturação) e tipo T (biomassa aérea, massa de vagens, IAF, altura e largura do dossel, número

de vagens, sementes por vagem, massa de sementes e índice de colheita ao longo do ciclo). Por apresentarem similaridade genética, as cultivares IAC 503 e IAC 505 foram representadas por um único conjunto de coeficientes, inicialmente derivados da cultivar Runner-type do banco DSSAT, excetuando-se os parâmetros medidos neste estudo — massa unitária de sementes (WTPSD), área foliar máxima de um trifólio (SIZLF), área foliar específica (SLAVR) e número de sementes por vagem (SDPDV).

A calibração procedeu-se de forma interativa, via análise de sensibilidade do DSSAT: primeiro ajustaram-se os coeficientes fenológicos para minimizar desvios entre datas simuladas e observadas de floração, formação da primeira vagem, primeira semente e maturidade fisiológica; em seguida, calibraram-se os coeficientes de crescimento para alinhar as estimativas de altura e largura do dossel, biomassa e produtividade de vagens aos valores experimentais, resultando em um conjunto de parâmetros geneticamente coerente para o amendoim sob condições de irrigação plena.

2.7 Análise de dados modelados

A avaliação de um modelo consiste em analisar a relevância e a precisão de suas previsões em comparação com dados reais, a fim de determinar seu valor preditivo e a qualidade dos resultados obtidos (Pasquel et al., 2022). Portanto, conforme Wallach et al. (2019), para avaliar os resultados de um modelo é preciso comparar os dados observados versus os dados simulados através de uma métrica ou indicador para medir a distância entre esses dados.

Esta análise pode ser realizada através de alguns indicadores, como por exemplo o Erro médio absoluto (EMA), que é responsável por calcular a magnitude da média ponderada dos erros absolutos. Em que, de acordo com Willmontt's e Matsuura (2005), o EMA se trata de uma medida natural que possui uma melhor precisão em relação à da magnitude média do erro. O EMA pode ser calculado por meio da Equação 7.

$$EMA = \frac{\sum |E_i - M_i|}{N} \quad (7)$$

O Índice de concordância “d”, proposto por Willmontt's (1985), que consiste na mensuração da distância em que os pontos mensurados versus simulados estão afastados da reta

1:1. Para o coeficiente de Willmott, valores próximos a 1 indicam resultados aceitáveis. O d pode ser calculado por meio da Equação 8.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (E_i - M_i)^2}{\sum (|E_i - M| + |M_i - M|)^2} \right] \quad (8)$$

A Raiz quadrada do erro médio (RMSE) é responsável por calcular a magnitude média do erro de estimativa, concedendo o grau de espalhamento obtido na correlação entre o valor estimado e o valor observado. De acordo com Nyakudya et al. (2014), o RMSE representa um diferencial porque essa diferença se dá na mesma unidade de variáveis de observação e simulação. Para RMSE, valores abaixo de 10%, entre 10 e 20%, entre 20 e 30 e > 30%, equivalem a resultados de estimativa perfeitos, bons, aceitáveis e ruins. O RMSE pode ser calculado por meio da Equação 9.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (E_i - M_i)^2}{N}} \quad (9)$$

Entretanto, a raiz quadrada média do erro normalizado (NRMSE) expressa uma quantidade semelhante, porém normalizada (permitindo a comparação estatística entre os diversos elementos simulados) e apresentada em forma de porcentagem (Boulangue et al., 2025). Como apresentado na equação 10.

$$NRMSE = \frac{100}{\bar{M}} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{n} \right]^{0,5} \quad (10)$$

A eficiência de Nash e Sutcliffe (NSE), proposto por Nash e Sutcliffe (1970), é uma estatística normalizada utilizada para calcular a relevância relativa da variância residual em verificação com as mudanças observadas nos dados. O NSE consiste no grau de ajuste entre a combinação de dados observados e dados simulados e a linha 1:1, indicando a robustez do

modelo (Silva et al., 2018). Os valores de NSE entre 0 e 1 são considerados níveis de desempenho aceitáveis, enquanto um valor <0 indica que a média observada é um prognóstico melhor em comparação aos dados de saída, apontando performance inaceitável (Moriassi et al., 2007). O NSE pode ser calculado por meio da Equação 11.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum(Mi - Ei)^2}{\sum(Mi - M)^2} \right] \quad (11)$$

Já o Coeficiente de determinação (R^2), representa o valor quadrado do coeficiente de correlação de Pearson, que apresenta a variância entre os dados medidos e os dados estimados do modelo e indica a precisão do modelo. O valor de R^2 varia de 0 a 1, em que quanto mais próximo o valor estiver de 1, melhor será o ajuste. Normalmente, um valor maior que 0,5 é considerado aceitável. Um ponto negativo do R^2 é que ele calcula apenas a dispersão, assim, um modelo que superestimar ou subestimar o valor observado pode apresentar um bom valor para R^2 (Krause et al., 2005). O R^2 pode ser calculado por meio da Equação 12.

$$R^2 = \frac{[\sum(Ei - E)(Mi - M)]^2}{(\sum(Ei - E)^2)(\sum(Mi - M)^2)} \quad (12)$$

Em que para todas as equações referentes aos indicadores de adequação devem ser utilizados os valores mensurados (Mi) e estimados (Ei), e suas respectivas médias M e E .

O Coeficiente de Correlação de Pearson “ r ” mede o grau de associação entre duas variáveis, indicando a correlação entre os dados observados e simulados, essa correlação pode ser positiva ou negativa de acordo com, Rodrigues (2008) Equação 13.

$$r = \frac{\sum Oi Si - \frac{\sum Si \times \sum Oi}{N}}{(N - 1) \times SOi * SSi} \quad (13)$$

Em que: r é o coeficiente de correlação de Pearson; $\sum XY$ é a soma dos produtos entre os valores de X e Y ; $\sum X * \sum Y$ é o produto da soma dos valores de X e Y ; N é o número de observações; Sx é o desvio padrão dos valores de x e o Sy é o desvio padrão dos valores de y .

De acordo com Camargo e Sentelhas (1997), o desempenho pode ser avaliado pelo índice de confiança (c), o qual é o produto do coeficiente de correlação (r) pelo coeficiente de exatidão (d), conforme descrito pela equação 14.

$$c = d * r \quad (14)$$

A avaliação da classificação do índice de desempenho (c) pode ser conduzida de acordo com os critérios de interpretação fornecidos na Tabela 2, conforme descrito por Camargo e Sentelhas (1997).

Tabela 2. Critério de interpretação do desempenho do método de estimativa, pelo índice de concordância (c).

Índice de desempenho (c)	Desempenho
>0,86	Ótimo
0,79 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sófrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Adaptado de Camargo e Sentelhas (1997).

A Porcentagem de Desvio indica a subestimativa ou superestimava entre os valores observados e simulados (TOJO SOLER, 2004). Essa porcentagem pode ser dada pela equação 15.

$$PE = \left[\frac{Si - Oi}{Oi} \right] * 100 \quad (15)$$

Em que: PE é a porcentagem de desvio; Si é o valor simulado pelo modelo e Oi é o valor observado.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no levantamento bibliográfico realizado, foi possível compreender que os modelos agrometeorológicos AquaCrop, CROPWAT e DSSAT apresentam potencial significativo para estimar a produtividade da cultura do amendoim. Esses modelos se mostraram eficientes ao simular as interações entre planta, solo, atmosfera e manejo agrícola, com destaque para o AquaCrop, que demonstrou boa acurácia em cenários de déficit hídrico. O DSSAT apresentou elevado detalhamento nos processos fisiológicos e de manejo, sendo amplamente utilizado para simular o desenvolvimento da cultura em diversas regiões. Já o CROPWAT, embora menos explorado especificamente para o amendoim, mostrou-se promissor na estimativa das necessidades hídricas e no planejamento de irrigação.

Identificou-se que os principais fatores que afetam a produtividade do amendoim são a disponibilidade hídrica, a época de semeadura e a densidade de plantas, os quais impactam diretamente variáveis fisiológicas e agronômicas cruciais para o rendimento da cultura. As variáveis de entrada mais relevantes nos modelos incluíram temperatura, precipitação, radiação solar, evapotranspiração de referência, características fenológicas da cultura, índice de área foliar, propriedades físicas do solo e parâmetros de manejo agrícola.

Além disso, evidenciou-se que, embora os modelos apresentem grande aplicabilidade, sua eficácia depende diretamente da calibração e validação com dados locais, bem como da disponibilidade de informações meteorológicas e edafoclimáticas regionais. O trabalho também ressalta a necessidade de mais estudos voltados à aplicação do CROPWAT especificamente na cultura do amendoim, o que ampliaria sua aplicabilidade em diferentes contextos produtivos.

Por fim, conclui-se que o uso de modelos agrometeorológicos é uma ferramenta estratégica para a tomada de decisão e para o planejamento agrícola.

REFERÊNCIAS

- Abayechaw, D. (2021). Review on decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT) model. *Information Systems*, 10(6), 126-133.
- ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. *Geoderma*, v.60, n. 1-4, p.15-40, 1993.
- Ahmad A (1999) Yield response of groundnut grown under rainfed and irrigated conditions. In.: Kirda C, Moutonnet P, Hera C, Nielsen DR (Eds.) *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 128-135.
- AHMAD, Adeel et al. Simulating the growth and yield of peanut cultivars under temporal variation using cropgro-peanut (dssat) model. **Pakistan Journal of Botany**, p. 22-3, 2021.
- Ahmed, Z., Gui, D., Qi, Z., Liu, Y., Liu, Y., & Azmat, M. (2022). Agricultural system modeling: current achievements, innovations, and future roadmap. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(4), 363.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. In United Nations FAO, *Irrigation and Drainage Paper 56*; FAO: Rome, Italy, 1998. Allen, RG; Pereira, LS; Raes, D.; Smith, M. *Evapotranspiração das culturas - Diretrizes para o cálculo das necessidades das culturas*. FAO 56, 1998. 50p.
- ALMEIDA N.S. de; et al. Herbicida alachlor na atividade microbiana do solo e na qualidade fisiológica de sementes de amendoim In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. Resumos... Ribeirão Preto: UNESP, 2003. CD- ROM.
- ARAÚJO, Rodrigo José Viriato de. *Disponibilidade de cultivares de amendoim no Brasil: Uma análise da Paraíba*. 2021.
- ARUMUGAGOUNDER, Naresh Kumar Thangaraju; IHUOMA, Samuel; MADRAMOOTOO, Chandra A. Water productivity of irrigated tomatoes in eastern Canada based on AquaCrop simulations. *Journal of the ASABE*, v. 65, n. 5, p. 1007-1017, 2022.
- AVADHANI SS, ARUN AB, GOVINDA V, INAMDAR JSI (2019) **Crop Prediction Models - A Review**. In: **Emerging Technologies in Data Mining and Information Security**. Springer, Singapore, 2019. p. 13-17.
- BARRERA JR, Wilfredo et al. Assessing the impacts of regulated deficit irrigation on soybean using AquaCrop. *Italian Journal of Agronomy*, v. 19, n. 4, p. 100023, 2024.
- BASTOS, Edson Alves et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurguéia, Piauí. *Irriga*, v. 13, n. 2, p. 182-190, 2008.
- BAUR, Susanne et al. Solar radiation modification challenges decarbonization with renewable solar energy. **Earth System Dynamics**, v. 15, n. 2, p. 307-322, 2024.
- BOOTE, K. J. Growth stages of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Peanut science*, v. 9, n. 1, p. 35-40, 1982.

BRANDÃO VS, Cecílio RA, Pruski FF, Silva DD. **Infiltração de água no solo**. 3 ed. Atual e Ampl. Viçosa: UFV, 2006 a. 120p.

CARVALHO, D. F. (UFRRJ); OLIVEIRA, L. F. C. Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada. 1. ed. Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2012.

CENTURION, M. A. P. C.; CENTURION J. F. Cultura do amendoim. Jaboticabal: FCAV – UNESP, 1998. p. 1-24. Apostila.

Chen, J., Li, Q., Zhang, X., Dong, J., Hou, X., Miao, H., ... & Shan, Z. (2025). Calibration and Validation of the CSM-CROPGRO-Peanut Model Under Mulched Drip Irrigation Conditions in Xinjiang. *Plants*, 14(4), 614.

Chibarabada TP, Modi AT, Mabhaudhi T (2020) Calibration and evaluation of aquacrop for groundnut (*Arachis hypogaea*) under water deficit conditions. *Agricultural and Forest Meteorology* 281:107850. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107850>.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim da Safra de Grãos 2023/24. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CONAGIN, Candida HTM. Morfologia da flor e formação do fruto no amendoim cultivado (*Arachis hypogaea*, L.). *Bragantia*, v. 14, p. 259-266, 1955.

CONDÉ, Samyra Alves. Modelagem agrometeorológica aplicada à classificação de um painel de linhagens de soja. 2024.

COSTA, Kívia Caroline da. Demanda hídrica do amendoim cultivado no Agreste alagoano. 2023.

CRUZ, Ruana Iris Fernandes et al. PRODUCTIVITY OF IRRIGATED PEANUT PLANTS UNDER PULSE AND CONTINUOUS DRIPPING IRRIGATION WITH BRACKISH WATER 1 2. *Revista Caatinga*, v. 34, p. 208-218, 2021.

D'OLIVEIRA, Pérsio Sandir et al. APLICAÇÕES DA FENOLOGIA NO CULTIVO DA ALFAFA. **Revista Contemporânea**, v. 5, n. 5, p. e8132-e8132, 2025.

DE AZEVEDO, Benito Moreira et al. Manejo da irrigação na cultura do amendoim. *Magistra*, v. 26, n. 1, p. 11-18, 2014.

DE CASTRO, Patrícia Alves Leão; SANTOS, Gilmar Oliveira. Condições climáticas como ferramenta de planejamento agrícola e urbano, o caso do município de Rio Verde, Goiás. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, p. 717-732, 2021.

de Deus, Alex Santos, et al. "Impacto da densidade de plantio e cultivares no rendimento de óleo de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em regime de sequeiro." *Revista de Gestão e Secretariado* 16.1 (2025): e4616-e4616.

DE MEDEIROS LIMA, Viviane Alves; COSTA, Rildo. CLIMA E AGRICULTURA: UM ESTUDO DAS CHUVAS E A PRODUÇÃO DE SOJA EM CAPINÓPOLIS–MG. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 12, n. 2, p. 239-259, 2022.

DE VOS, B. MEIRVENNE, M. V. QUATAERT, P. DECKERS, J. MUYS, B. Predictive quality of pedotransfer functions for estimating bulk density of forest soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 2, p. 500-510, 2005. DOI: 10.2136/sssaj2005.0500

DO PRADO, Giuliani et al. Produtividade do amendoim submetido a lâminas de irrigação e sistemas de preparo do solo. 2021.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. **Análise granulométrica**. In: TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. (Ed.). Manual de Métodos de Análise de Solo. Embrapa, Brasília, DF, 2017. p. 95–116.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.M. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Rome Food and Agriculture Organization of United Nations, p.193. 1979.

DOS SANTOS, Alberto Baêta; COSTA, José Dias. Crescimento de arroz de sequeiro em diferentes populações e irrigação suplementar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 6, p. 591-599, 1997.

DOS SANTOS, Andressa Alves Cabreira et al. A cultura do *Arachis hypogaea* L.: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e24910212719-e24910212719, 2021.

DOS SANTOS, R. C. Amendoim: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2009.

DOURADO NETO, D., TERUEL, D. A., REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.;FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: I. uses of mathematical models in agricultural science. *Scientia Agricola*, v.55, n. especial Piracicaba, p.46 - 50, 1998a.

DUARTE, Elizabeth AA; MELO FILHO, Péricles de A.; SANTOS, Roseane C. Características agronômicas e índice de colheita de diferentes genótipos de amendoim submetidos a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 843-847, 2013.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manejo da irrigação do algodoeiro**. Campina Grande. 2016.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. CROPWAT software. Rome: Land and Water Division, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/landwater/databases-andsoftware/cropwat/en/>. Acesso em: 20 maio de 2025.

FAOSTAT (2023) Crops and livestock products. Roma: FAO. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> Aceso em: 30 abril. 2025.

FARIAS, Laryssa Roberta Alves. Desempenho agrônômico da cultura do amendoim irrigado com água salina cultivada em ambiente protegido. 2021.

FAZEL, Forough; ANSARI, Hossein; AGUILAR, Jonathan. Determination of the most efficient forage sorghum irrigation scheduling strategies in the US central high plains using the aquacrop model and field experiments. *Agronomy*, v. 13, n. 10, p. 2446, 2023.

FERREIRA, Francisco Edson Paulo et al. Rendimento do feijão-caupi submetido ao estresse hídrico em diferentes cenários produtivos. 2023.

FRANÇA, Pablo Nascimento de Oliveira; CARREGA, Willians César; DE FARIA, Rogério Teixeira. Amendoim submetido a níveis de irrigação. 2020.

GIL, Felipe. **Amendoim: história, botânica e culinária**. Editora Senac São Paulo, 2019.

Godoy IJ, Moraes SA, Zanotto MD, Santos RC (2005) Melhoramento do Amendoim. In: Borém A (Ed. Org.) Melhoramento de Plantas: Culturas Agrônômicas. Viçosa: UFV.

GONÇALVES, Joaquim Alves. Arranjo espacial no crescimento e rendimento de amendoim em duas épocas de semeadura no Recôncavo Baiano. 2004.

GONZALEZ, Raphael Augusto Novais. Interação entre épocas de semeadura e regimes hídricos na morfofisiologia e produtividade do amendoim. 2023.

GUAN, Dong-Xing; MENEZES-BLACKBURN, Daniel; LI, Gang. The importance of mineral elements for sustainable crop production. **Agronomy**, v. 14, n. 1, p. 209, 2024.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. 1 ed. London: Academic Press, San Diego, 1998.

HOOGENBOOM, G.; PORTER C. H.; BOOTE, K. J.; SHELIA, V.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; WHITE, J. W.; ASSENG, S.; LIZASO, J. I.; MORENO, L. P.; PAVAN, W.; OGOSHI, R.; HUNT, L. A.; TSUJI, G. Y.; JONES, J. W. 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>).

HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; SHELIA, V.; BOOTE, K. J.; SINGH, U.; WHITE, J. W.; PAVAN, W.; OLIVEIRA, F. A. A.; MORENO-CADENA, L. P.; LIZASO, J. I.; ASSENG, S.; PEQUENO, D. N. L.; KIMBALL, B. A.; ALDERMAN, P. D.; THORP, K. R.; JONES, M. R.; CUADRA, S. V.; VIANNA, M. S.; VILLALOBOS, F. J.; FERREIRA, T. B.; BATCHELOR, W. D.; KOO, J.; HUNT, L. A.; JONES, J. W. 2021. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.8 (DSSAT.net). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA. Disponível em DSSAT.net - Official Home of the DSSAT Cropping Systems Model. Acessado em 06 de jun de 2025.

HOQUE, M. N. et al. Agro-meteorological Crop Yield Modeling: A Comprehensive Review. **Journal of Environmental Science and Natural Resources**, p. 55-64, 2025.

HUSSAIN, Muhammad Zeeshan et al. Advanced Applications of AquaCrop for Field Management and Climate Impact Assessment. **Asian Journal of Research in Crop Science**, v. 10, n. 1, p. 1-17, 2025.

IBGE (2023) Sistema IBGE de recuperação automática. IBGE. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/0>>. Acesso em: 26 mar. 2025.

IRENE FILHO, J. O. ã. O. Modelagem do crescimento e produtividade de grãos de soja na região do cerrado do sudoeste piauiense. 2024.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. The DSSAT cropping system model. **Europ. J. Agronomy**, v. 18, p. 235-265, 2003.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; WILKENS, P.W.; PORTER, C. H.; TSUJI, G. Y. 2010. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0**. Volume 4. DSSAT v4.5: Crop Model Documentation. University of Hawaii, Honolulu, HI.

KHAN, Zafar A. et al. Assessing Crop Water Requirements and a Case for Renewable-Energy-Powered Pumping System for Wheat, Cotton, and Sorghum Crops in Sudan. *Energies*, v. 14, n. 23, p. 8133, 2021.

Khatua, R., Panneerselvam, S., Geethalakshmi, V., Kumar, M., & Jeyakumar, P. (2023). Calibration and validation of DSSAT (CROPGRO) model for winter irrigated cotton in Coimbatore, Tamil Nadu, India. *Int. J. Plant Soil Sci*, 35(22), 752-760.]

KRANS, W. M.; HOHMANN, C. L.; BIANCHINI, A. Amendoim. In: Instituto Agronômico do Paraná. Manual agropecuário para o Paraná. Londrina: Fundação Instituto Agropecuário Paraná, 1980. p.121-128.

KRAPOVICKAS, Antonio; GREGORY, Walton C. TAXONOMIA DEL GENERO" ARACHIS (LEGUMINOSAE)". *Bonplandia*, p. 1-186, 1994.

LECERF, R.; CEGLAR, A.; LÓPEZ-LOZANO, R.; VELDE, M. V. D.; BARUTH, B. Assessing the information in crop model and meteorological indicators to forecast crop yield over Europe. *Agricultural Systems*, v. 168, p. 191-202, 2019.

LI, Na et al. Responses of Soybean Water Supply and Requirement to Future Climate Conditions in Heilongjiang Province. *Agriculture*, v. 12, n. 7, p. 1035, 2022.

LI, Yi et al. Cotton yield responses to climate change and adaptability of sowing date simulated by AquaCrop model. *Industrial Crops and Products*, v. 212, p. 118319, 2024.

MANTOVANI, E. C., BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 3. ed. Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2009.

MARIN, F. R., Pezzopane, J. R. M., Pedro, M. Jr., Godoy, J. I., Gouvêa J. R. F. Estimativa da produtividade e determinação das melhores épocas de semeadura para a cultura do amendoim no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 64-75, 2006.

MATAILO-RAMIREZ, Luis et al. Modelización del rendimiento con Aquacrop-FAO en el cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.), Ecuador. *Manglar*, v. 20, n. 1, p. 51-58, 2023.

MORIASI, D. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, v. 50, n. 3, p. 885–900, 2007.

MUROYIWA, Godfrey Singano et al. Estimating crop water requirements for irrigation scheduling of tomato using Aquacrop 5.0 and Cropwat 8.0 models under scarcity and unreliability of rainfall in Harare. *African Journal of Agricultural Research*, v. 18, n. 12, p. 1089-1101, 2022. ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. *Geoderma*, v.60, n. 1-4, p.15-40, 1993.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River Flow Forecasting through Conceptual Models Part I—A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, v. 10, p. 282-290, 1970.

NIE, Tangzhe et al. Irrigation scheduling for maize under different hydrological years in Heilongjiang Province, China. *Plants*, v. 12, n. 8, p. 1676, 2023.

NOVELLI, Francesco et al. Assimilation of sentinel-2 leaf area index data into a physically-based crop growth model for yield estimation. *Agronomy*, v. 9, n. 5, p. 255, 2019.

NUNES, Lucas Ramon Teixeira. Calibração e teste do modelo AquaCrop para o amendoizeiro sob lâminas de irrigação plena e deficitária. 2022.

OLIVEIRA, Alasse. Plantação de amendoim: tudo que você precisa saber. Blog da Aegro, 9 maio 2025. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/plantacao-de-amendoim/>. Acesso em: 4 ago. 2025.

OLIVEIRA, M.W. et al. Acúmulo de matéria seca de nitrogênio por crotalaria juncea, crotalaria spectabilis e feijão de porco, inoculados com rhizobium. In: XXI Congresso Brasileiro de Zootecnia. 2011. Maceió. Anais do... XXI Congresso Brasileiro de Zootecnia. 2011b. CD ROM.

OLIVEIRA, Thaísa Fernanda. Produtividade e qualidade do repolho influenciadas pela adubação potássica e modelagem da recomendação de nutrientes para a cultura. 2017.

PASQUEL, Daniel et al. A review of methods to evaluate crop model performance at multiple and changing spatial scales. *Precision Agriculture*, v. 23, n. 4, p. 1489-1513, 2022.

Patil, R. H. (2019). Applications of crop simulation models in global agriculture research: A review. *J Farm Sci*, 32(4), 377-387.

PAUTIAN, K.; PARTON, W.J.; PERSON, J. Modeling soil organic matter in organically amended and nitrogen fertilized long-term plots. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, p.476-488, 1992.

PEIXOTO, C.P.; CAMARA G.M.S.; MARTINS, M.C.; MARCHIORI, L.F.S. Efeitos de épocas de semeadura e densidade de plantas sobre a produtividade de 11 cultivares de soja no Estado de São Paulo. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v.77, n. 2, p.265-291, 2002.

PEIXOTO, Clovis Pereira et al. Características agronômicas e produtividade de amendoim em diferentes espaçamentos e épocas de semeadura no recôncavo baiano. *Bragantia*, v. 67, p. 673-684, 2008.

PEREIRA, L. S.; PAREDES, Paul; JOVANOVIĆ, Nebojsa. Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach. *Agricultural water management*, v. 241, p. 106357, 2020.

PERREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. *Meteorologia Agrícola*. Piracicaba: ESALQ, Depto. Ciências Exatas, 2007. 192p.

POKOVAI, Klára; FODOR, Nándor. Adjusting ceptometer data to improve leaf area index measurements. *Agronomy*, v. 9, n. 12, p. 866, 2019.

PORTO, Bruna Barreto. Calibração e avaliação do rendimento e produção de biomassa de duas cultivares de trigo, utilizando o modelo AQUACROP para a sub-região produtora Luís Eduardo Magalhães, Oeste Baiano. 2024.

PUPPALA, Naveen et al. Sustaining yield and nutritional quality of peanuts in harsh environments: Physiological and molecular basis of drought and heat stress tolerance. **Frontiers in Genetics**, v. 14, p. 1121462, 2023.

RAES, D.; STEDUTO P.; HSIAO T.C.; FERERES E. Reference Manual. AquaCrop, version 6.0 plus. Chapter 1. FAO crop- water productivity model to simulate yield response to water. March-2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ar246e.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2025.

ROSA, Stefanie Lais Kreutz et al. Calibration and validation of the AquaCrop model to estimate soybean production in the Campos Gerais, Parana State, Brazil. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 25, n. 4, 2023.

RUIZ, Fábio Fiori et al. Densidade de sementes e época de semeadura para três cultivares de amendoim. *South American Sciences*, v. 3, n. 2, p. E22185-E22185, 2022.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+ argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 297-300, 2005.

Sabarinathan, B., Pazhanivelan, S., Ragonath, K. P., Sivamurugan, A. P., & Sudarmanian, N. S. (2021). Calibration and validation of CERES-sorghum module of DSSAT model for rabi sorghum under rainfed condition. *The Pharma Innovation Journal*, 10(1), 715-718.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. Fisiologia das Plantas. 4ª Edição. **Cengage Learning**, 2012.

SANTOS, José Wanderson Silva dos et al. Calibração do aquacrop e avaliação de épocas de semeadura de cultivares de soja para os tabuleiros costeiros de Alagoas. 2023.

SANTOS, N. G. N.; OLSZEWSKI, N.; SALVIANO, A. M.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J. S. Granulometric fractions and physical-hydric behavior of sandy soils. **Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 318-327, 2019.

SEZEN, Semih Metin et al. 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**, p. 1-14, 2022.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R.; MORAIS, W. A.; CUNHA, E. S.; ROQUE, R. C.; ALVES, D. K. M.; Teixeira, M. B. **Métodos para estimativa da infiltração de água em um Latossolo sob plantio direto e convencional**. Gl. Sci Technol, v.10, n.01, p.169-176, 2017.

SILVA, V. P. R. et al. Calibration and validations of the AquaCrop model for the soybean crop grow under diferente levels of irrigation in the Motopiba region, Brazil. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 1, 2018.

SILVEIRA, Patrícia Souza da. Época de semeadura e densidade de plantas em cultivares de amendoim no Recôncavo Sul Baiano. 2010.

SOMANI, Pooja; CHARHATE, Shrikant; GARUDKAR, Avinash. Irrigation Scheduling of Pawale Project using FAO-CROPWAT 8.0. *Recent Patents on Engineering*, v. 19, n. 1, p. E021123223060, 2025.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper Nr. 66. Rome, Italy, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/016/i2800e/i2800e00.htm>>. Acesso em: 21 de maio de 2025.

SUANDANA, Febery Hery; BOWO, Cahyoadi; SOEPARJONO, Sigit. Effect of deficit irrigation on the growth and yield of peanuts (*Arachis hypogaea* (L.) Merr.) compared to AquaCrop model simulation. ***Ilmu Pertanian (Agricultural Science)***, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2023.

THIRUMENINATHAN, S. et al. Calibration and validation of DSSAT CROPGRO Peanut model for yield and yield attributing characters of groundnut varieties in northern agro-climatic zone of Tamil Nadu. ***International Journal of Environment and Climate Change***, v. 11, n. 11, p. 207-215, 2021.

TIMLIN, Dennis; PAFF, Kirsten; HAN, Eunjin. The role of crop simulation modeling in assessing potential climate change impacts. ***Agrosystems, Geosciences & Environment***, v. 7, n. 1, p. e20453, 2024.

TIMM, L. C. et al. State-space approach to evaluate the relation between soil physical and chemical properties. ***Revista Brasileira de Ciência do Solo***, v. 28, p. 49-58, 2004.

UMESH, Barikara et al. Assessment of climate change impact on maize (*Zea mays* L.) through aquacrop model in semi-arid alfisol of southern Telangana. *Agricultural Water Management*, v. 274, p. 107950, 2022.

VEIMEHYER, F. J. HENDRICKSON, A. H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. ***Soil Science***, v. 32. p. 181-193, 1931.

VIANNA, M. S.; MARIN, F. R.; PILAU, F. G. Modelo agrometeorológico genérico de produção vegetal (MAGé). Piracicaba: ESALQ, 2017.

Wikihmong (2022) Peanut. Disponível em: <<https://wikihmong.com/en/Peanut>>. Acesso em: 10 março. 2025.

WILLMOTT, Cort J.; MATSUURA, Kenji. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. ***Climate research***, v. 30, n. 1, p. 79-82, 2005.

YAISMIN, Tarannum; MOMEN, Md Billal Hossain; ISLAM, Md Robiul. Evaluation of Irrigation Management for Maize Using the CROPWAT Model. *Int. J. Sci. Res. in Multidisciplinary Studies Vol*, v. 11, n. 3, 2025.

ZHAO X, VAN DER MENSBRUGGHE DY, KEENEY RM, TYNER W. E. Improving the way land use change is handled in economic models. ***Economic Modelling***, 2019.