



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



IÊDO PEROBA DE OLIVEIRA TEODORO

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO
GERGELIM SOB REPOSIÇÃO HÍDRICA EM ALAGOAS**

RIO LARGO, AL
2022

IÊDO PEROBA DE OLIVEIRA TEODORO

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO
GERGELIM SOB REPOSIÇÃO HÍDRICA EM ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Claudio dos Santos Almeida

RIO LARGO, AL
2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana

T314c Teodoro, Iêdo Peroba de Oliveira.
Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim sob
reposição hídrica em Alagoas. / Iêdo Peroba de Oliveira Teodoro. – 2022.
50f.: il.
Orientador(a): Alexsandro Claudio dos Santos Almeida.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Campus
de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas.
Rio Largo, 2022.
Inclui bibliografia
1. *Sesamum indicum* L. 2. Modelagem. 3. Irrigação. Título.

CDU: 631.67: 981.35

Folha de Aprovação

AUTOR: IÊDO PEROBA DE OLIVEIRA TEODORO

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO
GERGELIM SOB REPOSIÇÃO HÍDRICA EM ALAGOAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Alagoas, como parte das
exigências para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo, aprovado em 20 de dezembro de 2022

Documento assinado digitalmente
 ALEXSANDRO CLAUDIO DOS SANTOS ALME
Data: 28/12/2022 21:38:21-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

ORIENTADOR: _____
(Prof. Dr. Alessandro Claudio dos Santos Almeida)

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 GUSTAVO BASTOS LYRA
Data: 27/12/2022 19:38:05-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Gustavo Bastos Lyra (Examinador externo)

Documento assinado digitalmente
 ADOLPHO EMANUEL QUINTELA DA ROCHA
Data: 23/12/2022 13:27:01-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Adolpho Emanuel Quintela da Rocha (Examinador interno)

Documento assinado digitalmente
 ALEXSANDRO CLAUDIO DOS SANTOS ALME
Data: 28/12/2022 21:40:08-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Alessandro Claudio dos Santos Almeida



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao 20º dia do mês de dezembro de 2022, às 10h00, sob a Presidência do Professor Doutor Alexsandro Claudio dos Santos Almeida, em sessão pública realizada na sala 04 do Departamento de Pós-Graduação, do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, localizado no km 85 da BR 104 Norte, em Rio Largo, Alagoas, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO GERGELIM SOB NÍVEIS DE REPOSIÇÃO HÍDRICA EM ALAGOAS”, do aluno Iêdo Peroba de Oliveira Teodoro, matrícula 17111368, requisito obrigatório para conclusão do Curso de Agronomia, assim constituída: Professor Doutor Alexsandro Claudio dos Santos Almeida - CECA/UFAL (Orientador); Professor Doutor Adolpho Emanuel Quintela da Rocha- CECA/UFAL; e Professor Doutor Gustavo Bastos Lyra - UFRRJ. Iniciados os trabalhos, foi dado a cada examinador um período máximo de 30 (trinta) minutos para arguição ao candidato. Terminada a defesa do trabalho, procedeu-se o julgamento final, cujo resultado foi o seguinte, observada a ordem de arguição: Professor Doutor Alexsandro Claudio dos Santos Almeida, nota 10,0 (dez); Professor Doutor Adolpho Emanuel Quintela da Rocha-CECA/UFAL, nota 10,0 (dez); e Professor Doutor Gustavo Bastos Lyra - UFRRJ, nota 10,0 (dez). Apuradas as notas, o candidato foi considerado **APROVADO**, com média geral 10,0 (dez).

Documento assinado digitalmente
 ALEXSANDRO CLAUDIO DOS SANTOS ALMEIDA
Data: 22/12/2022 18:17:11-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

1º Examinador(a)

Professor Doutor Alexsandro Claudio dos Santos Almeida
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 ADOLPHO EMANUEL QUINTELA DA ROCHA
Data: 22/12/2022 09:48:15-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

2º Examinador(a)

Professor Doutor Adolpho Emanuel Quintela da Rocha

Documento assinado digitalmente
 GUSTAVO BASTOS LYRA
Data: 21/12/2022 10:35:05-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

3º Examinador(a)

Pesquisador Doutor Gustavo Bastos Lyra

Documento assinado digitalmente
 REINALDO DE ALENCAR PAES
Data: 21/12/2022 20:33:05-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Coordenador Trabalho
Conclusão de Curso

Professor Doutor Reinaldo de Alencar Paes

Documento assinado digitalmente
 REINALDO DE ALENCAR PAES
Data: 21/12/2022 20:35:04-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Coordenador do Curso

Professor Doutor Reinaldo de Alencar Paes

DEDICATÓRIA

A Deus, que me presenteia todos os dias com a energia da vida, que me dá forças e coragem para atingir os meus objetivos;

Aos meus amados pais, Iêdo Teodoro e Maria da Penha Araújo de Oliveira Teodoro pelos exemplos de honestidade e humildade, por todo apoio em meu processo de formação e toda educação com carinho e paciência.

Ao meu irmão Antônio Peroba de Oliveira Teodoro, pelas lições de vida;

A todos que contribuíram com minha formação, amigos, colegas, namorada e orientadores.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Iêdo Teodoro e Maria da Penha Araújo de Oliveira Teodoro e irmão, Antônio Peroba de Oliveira Teodoro, por todo apoio durante minha trajetória de vida e educação;

À minha namorada, Marília Ribeiro de Lira, por todo amor, carinho e paciência nessa etapa;

Ao meu orientador, professor Dr. Alexsandro Claudio dos Santos Almeida, por todos os ensinamentos, conselhos, confiança e amizade durante a graduação;

Aos professores do LIA: Iêdo Teodoro, Guilherme Bastos, Ricardo Araújo, Marcos Alex, André Carvalho, Gustavo Lyra, Igor Cavalcante, Ivomberg Dourado e Adolpho Emanuel Quintela da Rocha pelas orientações e incentivos;

Ao corpo docente do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias, pelas contribuições na minha formação;

Aos colegas e amigos de laboratório: Constantino Cavalcante, Wemerson Saulo, Manoel Alpiano, Jair Quintela, Marcos Antonio, Julianna Catonio, Jonathan Tenório, José Antonio, Jailton Aciole, José Wanderson, Larisse Araújo, Tiago Amaral, Thiago Cirilo, Anderson Amorim, Marcelo Tertuliano, Danilo Nascimento, pela boa convivência, ajuda e amizade;

Aos meus amigos de amigos de turma, João Pedro, Julia Omena, Walisson Ferreira, Vitor Rodrigues.

A FAPEAL pelas concessões de bolsas;

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho e acreditaram no meu empenho.

MUITO OBRIGADO!

EPÍGRAFE

*“Não se pode criar experiência.
É preciso passar por ela.”*

(Albert Camus)

RESUMO

O cultivo do gergelim tem potencial econômico no mercado interno e externo Brasileiro, devido a produção de óleo de excelente qualidade. Contudo, a cultura é sensível ao estresse, excesso ou déficit hídrico, e a região Nordeste do Brasil exhibe chuvas irregulares, que dificulta o manejo e reduz o crescimento e produtividade das culturas. A irrigação surge como uma alternativa de contorno ao estresse por déficit hídrico. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar o crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim em função da reposição hídrica nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. Para isso, foi executado e avaliado um experimento na área do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), com quatro repetições, em arranjo de blocos casualizados com cinco tratamentos, 50, 75, 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura. Ajustaram-se os modelos sigmoidal, logístico e peak log normal para as variáveis de crescimento, fitomassa seca total da parte aérea (FMSTA, kg ha^{-1}), altura de plantas (AP, cm) e índice de área foliar (IAF), respectivamente, em função dos graus dia acumulados ($^{\circ}\text{C dia}$). Para produtividade de grãos (kg ha^{-1}), ajustou-se modelo polinomial do segundo grau em função da lâmina de irrigação total aplicada para obter a produtividade e lâmina de máxima eficiência física e econômica. A FMSTA máxima ($16.678,79 \text{ kg ha}^{-1}$), AP máxima ($256,25 \text{ cm}$), IAF máximo ($11,37$) e máxima produtividade de grãos ($3.107,27 \text{ kg ha}^{-1}$) foram obtidos no tratamento irrigado com 100% da sua necessidade hídrica. Os modelos de crescimento tiveram coeficientes de determinação ajustados acima de 0,975; 0,957 e 0,909% para os modelos sigmoidal, logístico e peak log normal, respectivamente. O polinômio do segundo grau apresentou PG de máxima eficiência física ($2.777,44 \text{ kg ha}^{-1}$) para lâmina de irrigação de 419,89 mm,. Dessa maneira, o gergelim é resistente a seca e apresenta redução do crescimento e produtividade, quando submetido a estresse por déficit hídrico. A reposição de 100% da ETc é a mais adequada para atingir maior crescimento e produtividade. Os modelos empíricos simulam com precisão o crescimento do gergelim.

Palavras-chaves: *Sesamum indicum* L.; Modelagem; Irrigação

ABSTRACT

The cultivation of sesame has economic potential in the Brazilian internal and external market, due to the production of excellent quality oil. However, the crop is sensitive to stress, excess or deficit of water, and the Northeast region of Brazil has irregular rainfall, which makes management difficult and reduces crop growth and productivity. Irrigation emerges as an alternative to work around stress due to water deficit. Thus, the objective of this work was to evaluate the growth, development and productivity of sesame as a function of water remuneration in the Coastal Tablelands of Alagoas. For this, an experiment was carried out and evaluated in the Laboratory of Irrigation and Agrometeorology (LIA) of the Federal University of Alagoas (UFAL), with four replications, in a randomized block arrangement with five treatments, 50, 75, 100, 125 and 150% of crop evapotranspiration. The sigmoidal, logistic and peak log normal models were fitted for growth variables, total dry phytomass of the shoot (FMSTA, kg ha⁻¹), plant height (AP, cm) and leaf area index (LAI), respectively, as a function of the accumulated degree days (°C day). For grain production (kg ha⁻¹), adjust the second degree polynomial model as a function of the total irrigation depth applied to obtain the productivity and depth of maximum physical and economic efficiency. The maximum FMSTA (16,678.79 kg ha⁻¹), maximum AP (256.25 cm), maximum LAI (11.37) and maximum grain yield (3,107.27 kg ha⁻¹) were obtained in the irrigated treatment with 100 % of your water requirement. The growth models had trials of trials adjusted above 0.975; 0.957 and 0.909% for the sigmoidal, logistic and peak log normal models, respectively. The second-degree polynomial showed maximum physical (2,777.44 kg ha⁻¹) efficiency PG for irrigation depths of 419.89. Thus, sesame is resistant to drought and presents reduced growth and productivity when under stress due to water deficit. Returning 100% of ET_c is the most adequate to achieve higher growth and productivity. Empirical models accurately simulate sesame growth.

Keywords: *Sesamum indicum* L.; Modeling; Irrigation

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Principais países produtores de gergelim no mundo..... 15
- Figura 2. Distribuição dos tratamentos (L – Lâminas), em delineamento de blocos casualizados do experimento com gergelim, na região de Rio Largo, Alagoas. 24
- Figura 3. Variação da temperatura e umidade relativa média do ar durante o período experimental (08/10/2021 a 24/01/2022) de Rio Largo, Alagoas..... 29
- Figura 4. Armazenamento de água no solo (ARM), capacidade de água disponível (CAD), umidade crítica (UC), precipitação (P) e irrigação (I) em função dos dias após o semeio e lâminas de irrigação, no período de 08/10/2021 a 24/01/2022 em Rio Largo, AL..... 30
- Figura 5. Curvas de crescimento das variáveis fitomassa seca total (A), altura de plantas (B) e índice de área foliar (C) em função da lâmina de irrigação, na região de Rio Largo, Alagoas..... 33
- Figura 6. Função de produção e produtividade de grãos do gergelim, cultivar BRS Seda, em função da lâmina de irrigação em Rio Largo, Alagoas, no período de 08/10/2021 a 24/01/2022. 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ciclo fenológico do Gergelim BRS Seda	16
Tabela 2. Atributos físicos do solo nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm	22
Tabela 3. Resultados da análise química do solo da área experimental, nas profundidades de 0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.....	23
Tabela 4. Resumo das análises de variância para as variáveis de crescimento das sete avaliações do gergelim sob níveis de reposições hídricas.	32
Tabela 5. Parâmetros ajustados dos modelos de crescimento para o gergelim cultivado sob lâminas de irrigação para fitomassa seca total da parte aérea (kg ha^{-1}), altura da planta (cm) e índice de área foliar, respectivamente. Coeficientes de determinação ajustados (R^2_{ajs}).....	35

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	12
2.	Objetivos.....	14
2.2	Objetivo geral	14
2.3	Objetivos específicos	14
3.	Revisão de literatura	15
3.1	Cultura do gergelim	15
3.2	Desenvolvimento	16
3.3	Irrigação	17
3.4	Necessidade hídrica e efeito do estresse hídrico na cultura do gergelim 18	
3.5	Crescimento	20
3.6	Função de produção	21
4.	Metodologia.....	22
4.1	Área experimental.....	22
4.2	Plantio e manejo da cultura.....	22
4.3	Variáveis agrometeorológicas e balanço hídrico	24
4.4	Crescimento e desenvolvimento	25
4.5	Função de Produção	27
4.6	Avaliação estatística	28
5.	Resultados e discussão	29
5.1	Condições ambientais	29
5.2	Crescimento e Desenvolvimento da cultura	30
5.3	Função de produção	36
6.	Conclusão	38
7.	Referências Bibliográficas.....	39

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, estima-se que a cultura do gergelim ocupa 149,9 mil hectares, cuja produtividade de grãos é de 654 kg ha⁻¹. O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma alternativa para pequenos produtores por apresentar grande potencial econômico no mercado nacional e internacional devido a quantidade (44 a 58%) e qualidade do óleo (18 a 25% de proteína, 13% de carboidrato), utilizado como fonte de óleo comestível. Além disso, é uma espécie considerada tolerante à seca, capaz de produzir, com uma distribuição da precipitação regular de 300 mm de água ao longo do ciclo de cultivo, com faixa ideal entre 500 e 650 mm (ARRIEL et al., 2009; SILVA et al., 2014; TENYANG et al., 2017; QUEIROGA et al., 2014; CONAB, 2022).

O Nordeste brasileiro apresenta a distribuição, espacial e temporal irregular da precipitação o que acarreta secas. A região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas está inclusa nesse comportamento de distribuição hídrica, com a precipitação concentrada entre a primeira quinzena de abril até a segunda quinzena de agosto (SOUZA et al., 2004; SILVA et al., 2017). A qualidade e quantidade de água disponível para cultura é um fator limitante para produção agrícola (LIMA et al., 2020; ARAÚJO et al., 2022). A redução da umidade do solo afeta diretamente o metabolismo, crescimento e produtividade das plantas. A água quando utilizada de maneira eficiente e atrelada ao conhecimento sobre a cultura é um fator importante para o incremento da produção agrícola (ARAGÃO et al., 2012)

A tecnificação no cultivo de gergelim apresenta potencial para se obter produtividades de 2.000 kg ha⁻¹ (GRILO JUNIOR et al., 2013) e 2.500 kg ha⁻¹ (SEAGRI, 2020). Contudo, nos períodos com baixa disponibilidade hídrica, sem tecnologias de irrigação, a produtividade pode reduzir para 242 kg ha⁻¹ (LIMA et al., 2020). Nesse sentido, o uso racional da irrigação é uma alternativa para alavancar a produtividade das lavouras em regiões com déficits hídricos (PAVANI et al., 2008). Mas, é preciso fazer um planejamento da irrigação porque essa tecnologia é bastante onerosa e, se não planejada, pode causar danos ambientais e econômicos.

O manejo hídrico influencia o crescimento desenvolvimento, e produtividade das culturas (BASTUG et al., 2021; JAHAN; MAHALLATI, 2022). Logo, as variáveis de crescimento, como fitomassa seca total da parte aérea, altura da planta e índice de área foliar estão diretamente correlacionados com as condições hídricas do solo (SILVA et al.

2014; TANASKOVIK et al., 2019). O monitoramento das variáveis de crescimento demanda tempo e mão de obra qualificada para análise, o que dificulta o acompanhamento em áreas comerciais. Os modelos semiempíricos são importantes para planejar estratégias que auxiliarão os produtores na previsão dos períodos críticos da cultura (CORRÊA et al., 2011; BENDER et al., 2020).

2. OBJETIVOS

2.2 Objetivo geral

Avaliar o crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim sob níveis de reposição hídrica em Alagoas.

2.3 Objetivos específicos

- I. Determinar o período de cada fase fenológica do gergelim em função dos dias após o semeio e Graus-dia acumulados, em Alagoas;
- II. Quantificar o crescimento e a produtividade do gergelim sob lâminas de irrigação em função da evapotranspiração da cultura (ET_c);
- III. Ajustar modelos de crescimento para o gergelim;
- IV. Determinar a lâmina de máxima eficiência física do cultivo de gergelim.

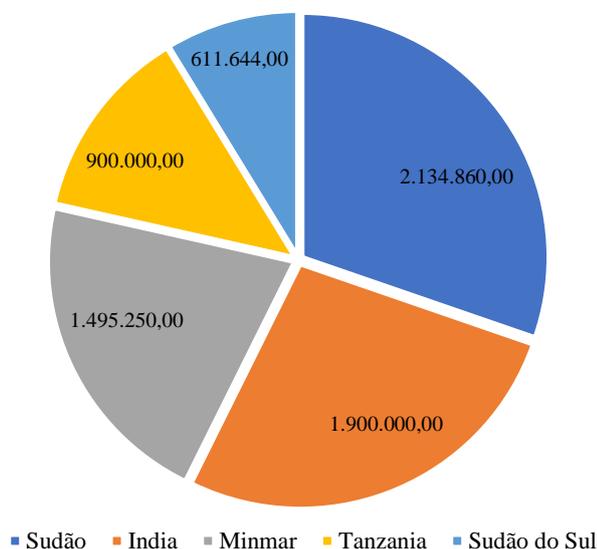
3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultura do gergelim

O gergelim é uma planta de porte herbáceo que pertence à família Pedaliácea, com origem no continente Africano. As Pedaliáceas abrangem 14 gêneros, espalhados nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. O *Sesamum* representa o gênero mais importante, composto por 49 espécies, das quais, o *Sesamum indicum* L. faz parte, destacando-se por apresentar diferença no tamanho, forma, desenvolvimento e crescimento (FIRMINO et al., 2009)

Os cinco principais países produtores de gergelim, classificados por área colhida incluem Sudão, Índia, Mianmar, Tanzânia e Sudão do Sul (Figura 1). No entanto, a Tanzânia foi o maior produtor, com uma produção de gergelim de 0,80 milhão de toneladas, seguida por Mianmar (0,76 milhão de toneladas) e Índia (0,75 milhão de toneladas) (FAO, 2019). A China foi o principal país, com o maior rendimento unitário por área de gergelim de 1056,9 kg ha⁻¹. No entanto, o rendimento unitário da área do gergelim mundial permaneceu baixo, com apenas 577,9 kg ha⁻¹ (ZHANG et al., 2019).

Figura 1. Principais países produtores de gergelim no mundo



Fonte: FAO (2019), adaptado pelo autor

No mundo, o rendimento médio do gergelim é de 578 kg ha⁻¹ (ZHANG et al., 2019). No Brasil, seu cultivo estimado para a safra 2021/2022, é uma área cultivada em torno de 143,5 mil hectares, com produção de 78,5 mil toneladas e produtividade de 547 kg ha⁻¹ do grão (CONAB, 2021).

Uma vantagem do cultivo do gergelim, sobretudo em regiões que apresentam irregularidade pluviométrica, está no seu baixo consumo de água. Essa particularidade promove um grande destaque da cultura em relação a qualquer outra de mesma natureza (GOMES et al., 2014). Entretanto, apesar de ser uma cultura de baixa necessidade hídrica, a falta de água, dependendo do período em que ocorre e levando-se em conta o estágio fenológico da planta, da cultivar e das condições do ambiente, pode levar à redução significativa do crescimento da planta, ocasionando redução na produtividade (BELTRÃO et al., 2001).

3.2 Desenvolvimento

Estudos sobre o padrão fenológico de comunidades ou populações vegetais fornecem informações sobre ritmos de crescimento e de reprodução, interação com o clima, produção de frutos e sementes (FISCH et al., 2000).

Conhecer as características de fenologia das culturas de interesse agrícola é um importante instrumento para a realização de planejamento, avaliação de desempenho e tomada de decisões. Nesse sentido, Rincón e Salazar (1997) propuseram uma metodologia para definição das fases fenológicas de desenvolvimento do gergelim, considerando separadamente os fenômenos vegetativos e os reprodutivos. O desenvolvimento pode acontecer em diferentes velocidades, em função de características climáticas e ambientais, mas sempre obedece a determinado padrão. Entre os fatores que podem influenciar o ritmo de desenvolvimento da planta, destacam-se temperatura, umidade e fertilidade do solo (SEVERINO et al., 2002).

O ciclo fenológico da cultura do gergelim é dividido em quatro fases em função dos principais processos fisiológicos da cultura (ALLEN et al. 2007; GRILO JÚNIOR et al. 2013), conforme Tabela 1

Tabela 1. Ciclo fenológico do Gergelim BRS Seda

Fase	Fase fenológica	Período após	duração
		emergência	dias
		(dias)	
I- Inicial	Emergência a 10% da cobertura de solo	1-15	15
II-Desenvolvimento	10% da cobertura de solo ao início da floração	15-35	20

III-Intermediária	Início da floração ao início da maturação	35-75	40
IV-Final	Início da maturação ao final do ciclo da cultura	75-90	15

Fonte: Allen et al. 2007; Grilo Júnior et al. 2013

3.3 Irrigação

A importância do correto manejo da irrigação a partir do conhecimento da necessidade hídrica da cultura consiste no fornecimento da quantidade de água que a planta verdadeiramente necessita. O gergelim é sensível ao encharcamento e de acordo com Weiss (1983) o excesso de umidade em qualquer estágio do desenvolvimento da cultura aumenta a incidência de doenças fúngicas, reduzindo sua produtividade. Langham et al. (2006) defendem que o gergelim é uma das culturas mais tolerantes à seca do mundo, entre tanto, as mais altas produtividades são obtidas quando a cultura se desenvolve sob condições irrigadas, principalmente nas regiões áridas.

A evapotranspiração (ET) é definida como a perda conjunta de água no solo, pela evaporação (E), e na planta, através da transpiração (T), sendo a evapotranspiração a soma da evaporação e da transpiração, com variações locais e espaciais provocadas pelas condições de solo, clima e estágio de desenvolvimento da cultura (DOORENBOS e KASSAM, 2000). A taxa evapotranspirométrica aumenta a proporção em que a umidade do solo se aproxima da capacidade de campo, e de forma geral, tende a estabilizar um pouco abaixo desta (VAREJÃO-SILVA, 2000). A evapotranspiração é denominada de acordo com as características ambientes em que é medida, dentre as quais tem-se a evapotranspiração de referência (ET_0) e a evapotranspiração da cultura (ET_c) (GOLÇALVES, 2010; SANTOS, 2003).

A evapotranspiração de referência (ET_0) é medida sobre uma grama hipotética com altura de 0,12 m, resistência de superfície fixa de 70 s m^{-1} e um albedo de 0,23, assemelhando-se a uma superfície extensa de grama verde, sem restrição de água e altura uniforme, crescendo ativamente e sombreando completamente o solo. De forma indireta, a ET_0 pode ser calculada a partir de dados meteorológicos (MEDEIROS, 2009) e tem sido utilizado como base agrometeorológica na estimativa da evapotranspiração e no manejo de irrigação na maioria das culturas. O modelo padrão para estimar a ET_0 , segundo a

FAO (Food and Agriculture Organization), é a equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

A evapotranspiração da cultura (ET_C) ocorre quando é medida sobre uma área cultivada, sem restrições hídricas e nutricionais, livre de pragas e doenças, em pleno desenvolvimento. É uma variável básica da irrigação e depende dos elementos meteorológicos, da cultura e do solo podendo ser medida diretamente (lisímetros), ou indiretamente (equações combinadas) por vários métodos (CHAVES et al., 2005). Uma forma usual de se estimar a ET_C é a partir da evapotranspiração de referência (ET_0), por meio de coeficientes apropriados conhecidos como coeficiente de cultura (K_C). O K_C representa uma integração dos efeitos de quatro características primárias que distinguem uma cultura específica da de referência, tais como: altura, albedo, propriedades aerodinâmicas da folha e evaporação do solo (ALLEN et al., 1998). Para a cultura do gergelim, valores mais elevados de ET_C nas fases de floração/frutificação podem ser explicados pelo fato de que, segundo Weiss (1983), em gergelim, a absorção máxima de água ocorrer na floração, diminuindo gradualmente depois, e assim resulta em aumento da evapotranspiração nesta fase.

Sepaskhah e Andam (2001) descobriram que a evapotranspiração potencial sazonal (ET_p) do gergelim em um período de crescimento de 5 meses foi de 910mm. Para a mesma cultura, Pereira et al. (2017) na região de Chapada do Apodí – RN, Brasil, obteve ET_C acumulada (pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen BREB) de 566,2 mm, em condições climáticas de ET_0 igual a 643,41 mm. Em outro estudo, Dervis (1986), estudando a cultura do gergelim aplicou 90 mm em cada uma das quatro irrigações, obtendo um consumo sazonal de 464,6 mm, no tratamento que obteve maior rendimento. Dessa forma, Stewart et al. (1983) e El-Tantawy (2003) relataram que existe uma relação significativa entre a quantidade de água de irrigação e a evapotranspiração da cultura e apontaram que a ET_C diminuiu com o aumento do estresse hídrico.

3.4 Necessidade hídrica e efeito do estresse hídrico na cultura do gergelim

A necessidade de água de uma planta ao longo de seu ciclo de vida é determinada por fatores da demanda evaporativa da atmosfera e das características da cultura. Os principais fatores que estão ligados a evapotranspiração dos vegetais são a espécie vegetal, interação com a radiação solar, distribuição espacial do dossel, arquitetura da planta, profundidade e volume do sistema radicular, estágio de desenvolvimento e índice de área foliar (BERGAMASSCHI; MARTZNAUER, 2014).

A necessidade hídrica da cultura é determinada a partir das perdas de água do solo, pelo processo de evaporação, e da planta, pelo processo de transpiração, para a atmosfera. Como esses processos ocorrem simultaneamente e são de difícil separação, temos que, a partir da evapotranspiração se estima a necessidade hídrica da cultura. A evapotranspiração é um processo dinâmico, sendo representado pelas perdas de água ocorridas, sob a forma de vapor, através da superfície do solo (evaporação) e da superfície das folhas (transpiração), com variações locais e espaciais provocadas pelas condições de solo, clima e estágio de desenvolvimento da cultura (DOORENBOS e KASSAM, 2000).

O gergelim é uma cultura resistente à seca, e necessita de 300 mm, com distribuição da precipitação pluvial regular para produzir, com uma faixa considerada ótima de 500 a 650 mm (SILVA et al., 2014). Bastug et al. (2021) na Turquia, obteve demanda hídrica para a cultura do gergelim de 518,8 e 509,2 mm, respectivamente para as cultivares Muganli-57 e Birkan. Silva et al. (2014) relataram que durante o ciclo da cultura, os maiores valores dos componentes de produção foram obtidos com a lâmina de 1026,50 mm para as condições de Barbalha, CE. Essa demanda varia em decorrência do ciclo da cultura, do seu genótipo e o estágio de desenvolvimento da planta, e também aos fatores ambientais do local.

A importância do correto manejo da irrigação a partir do conhecimento da necessidade hídrica da cultura consiste no fornecimento da quantidade de água que a planta verdadeiramente necessita. O gergelim é sensível ao encharcamento e de acordo com Weiss (1983) o excesso de umidade em qualquer estágio do desenvolvimento da cultura aumenta a incidência de doenças fúngicas, reduzindo sua produtividade e Langham et al. (2006) defendem que o gergelim é uma das culturas mais tolerantes à seca do mundo, entretanto, as mais altas produtividades são obtidas quando a cultura se desenvolve sob condições irrigadas, principalmente nas regiões áridas.

A cultura quando exposta a condições adversas no período da floração, ou seja, um desvio nas condições ótimas para seu desenvolvimento, acaba induzida a mudanças em todos os níveis funcionais, caracterizando um estresse vegetal (LARCHER, 2003). Os efeitos do estresse hídrico sobre o gergelim incluem sintomas visíveis de maturidade tardia, menor produção de biomassa e produtividade de grãos da cultura. Por exemplo, o estresse hídrico no gergelim mostrou redução na altura de planta, área foliar, rendimento de grãos (SAMAN; OZTURK, 2012; ARSLAN et al. 2014; SILVA et al. 2014; TANASKOVIK et al., 2019; ROPOKIS et al., 2019).

3.5 Crescimento

Análise de crescimento é uma maneira que descreve as condições morfofisiológicas em distintos intervalos de tempo, entre duas amostras sucessivas dentro do ciclo da planta, podendo avaliar seu crescimento e a contribuição dos diferentes órgãos da planta. A partir de dados de crescimento pode-se inferir atividade fisiológica, isto é, estimar as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes (BENINCASA, 2003). Pesquisadores tem usado a análise de crescimento com o intuito de explicar diferenças no crescimento de ordem genética ou resultante de modificações do ambiente (BRANDELERO et al., 2002) e constitui uma ferramenta eficiente para a identificação de materiais promissores. Também, pode ser usada para avaliação da produtividade de culturas e permite que se investigue a adaptação ecológica a novos ambientes, a competição entre espécies, os efeitos de manejo e tratamentos culturais, e a identificação da capacidade produtiva de diferentes genótipos (ALVAREZ et al., 2005).

As características do crescimento indicam a capacidade do sistema assimilatório das plantas em sintetizar e colocar matéria orgânica em diversos órgãos (drenos) que dependem da fotossíntese, respiração e translocação de fotoassimilados dos sítios de fixação aos locais de utilização ou de armazenamento (FONTES et al. 2005).

A altura da planta é um dos principais parâmetros de crescimento influenciado pelos fatores abióticos. De acordo com Amaral e Silva (2009), o maior o crescimento em altura da planta de gergelim ocorre no período entre 30 e 90 dias após o plantio e seu maior crescimento, no final do ciclo de cultivo, pode variar entre 80 a 201,6 cm para diferentes variedades e práticas de manejo (SILVA et al., 2014). Diferente da altura da planta que apresenta maior crescimento no final do ciclo, o índice de área foliar (IAF) que é a relação entre a área foliar e a área ocupada pelas plantas, geralmente aumenta até determinado ponto com posterior redução devido à senescência natural das folhas (CARVALHO et al., 2012; SILVA et al., 2016).

Monitorar o crescimento é uma ação complexa por demandar tempo, equipamento e mão de obra, o que dificulta a aplicação das avaliações em áreas comerciais. Entretanto, fornece detalhes que auxiliaram nas tomadas de decisões da propriedade, determinando práticas e técnicas agrícolas mais eficientes. O uso dos modelos agrícolas surge como alternativa de contorno para o planejamento estratégico das lavouras, embasado no crescimento da cultura. O objetivo da modelagem é estabelecer diagnósticos dos processos e identificar as épocas e quantidade adequadas das aplicações dos insumos,

nutricional, hídrico, explorando ao máximo o rendimento das culturas para estabelecer as diretrizes do sistema de cultivo (CORRÊA et al., 2011; BENDER et al., 2020).

3.6 Função de produção

Quando se fala em obter maior retorno econômico em determinada atividade agrícola, satisfazer somente as necessidades da cultura não é suficiente, sendo necessário observar outros fatores, tais como: clima, solo e adubação. Entretanto, o fornecimento inadequado de água e nutrientes às culturas são fatores que limitam com maior frequência seu rendimento, reduzindo a eficiência de produção do sistema agrícola (BARROS et al. 2002).

A agricultura irrigada tem como objetivos principais garantir a produção e aumentar a produtividade das culturas, além de buscar a maximização da eficiência do uso da água e a otimização dos fatores de produção. De acordo com Bernado (2006), a otimização do fator água deve possibilitar a melhor utilização dos insumos de produção, a fim de se obter maiores produtividades, com melhores combinações dos fatores utilizados. Para tanto, é necessário conhecer as funções de produção ou superfícies resposta, para auxiliar nas decisões, uma vez que essas funções permitem as interações entre os fatores que afetam a produtividade (SOUZA et al. 2000).

A função de resposta ou de produção das culturas é uma técnica que permite estimar a produtividade das culturas. Essa função é a relação entre uma determinada quantidade de insumo e as produções máximas obtidas do produto, em um nível de tecnologia conhecido (FRIZZONE, 1993). Neste sentido, tem-se buscado conhecer a relação existente entre a produção das culturas e seu consumo de água. Os estudos procuram determinar a relação entre a água evapotranspirada e a matéria seca das plantas no momento da colheita, além dos efeitos da falta de água sobre o volume de produção (AGUIAR, 2005).

Frizzone (1993), ressalta que a produção das culturas em resposta à água aplicada depende de diversos fatores, dentre estes, destacam-se a quantidade e frequência, método de aplicação da irrigação, desenvolvimento da cultura e condições climáticas. Esses aspectos podem explicar uma grande quantidade de pesquisas que tem revelado uma relação não linear entre a produção e a água aplicada através da irrigação.

4. METODOLOGIA

4.1 Área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA (09°28'02" S, 35°49'43" W e 127 m de altitude) da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, localizado no município de Rio Largo, Alagoas, Brasil. O clima da região é caracterizado como úmido (B1), megatérmico(A'), com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno (THORNTHWAITE & MATHER, 1955). As normais climatológicas (1972-2010) de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar médias da região são: 1789,5 mm, 25,4°C e 81,8%, respectivamente. O período chuvoso se concentra entre a primeira quinzena de abril até a segunda quinzena de agosto, com 70% do total anual e máxima precipitação em julho (294 mm). O período menos chuvoso ocorre da primeira quinzena de outubro até a primeira quinzena de fevereiro e concentra 16% do total anual, com mínima precipitação mensal em dezembro, 43,2 mm (SOUZA *et al.*, 2004; CARVALHO *et al.*, 2013; FERREIRA JUNIOR *et al.*, 2014). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Coeso Argissólico de textura médio-argilosa (CARVALHO, 2003). Os atributos físicos do solo estão na Tabela 2.

Tabela 2. Atributos físicos do solo nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm

Profundidade	Areia	Silte	Argila	Densidade aparente	Porosidade total	VIB
Cm		g kg ⁻¹		kg dm ⁻³	%	cm h ⁻¹
0-20	616	179,6	204,7	1,33	49,98	
20-40	577,6	108	314,4	1,33	49,72	14,88
40-60	509,4	96,2	394,4	1,3	51,38	

Fonte: Cunha *et al.*, (2015)

4.2 Plantio e manejo da cultura

Antes da instalação do experimento, foi realizada a coleta das amostras do solo, nas profundidades de 0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m para análise química (**Tabela 3**). Posteriormente, foi realizado o preparo do solo, revolvimento da camada de 0 a 0,25 m pela ação de duas gradagens, uma pesada, com objetivo de revolver a camada mais profunda e uma gradagem leve para destorroar a camada mais superficial do solo.

Tabela 3. Resultados da análise química do solo da área experimental, nas profundidades de 0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.

Prof.	pH	P	Ca	Mg	K	SB	Al	H+Al	CTC	V	M.O
cm	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³							%	g kg ⁻¹
00-20	5,6	29,92	2,9	1,3	0,11	4,03	0,0	4,29	8,32	48,0	42,6
20-40	4,9	13,05	1,3	0,4	0,06	1,77	0,7	4,46	6,23	28,0	21,4

Nota¹: Metodologia Embrapa; Extratores: Água (pH); Mehlich (P, K, Na, Fe, Cu, Zn, Mn); KCl (Ca, Mg e Al); Oxidação (C); Acetato de Cálcio (H+Al); B (HCl); Sulfato de Cálcio (S); Cálculos: S.B=Ca+Mg+Na+K; CTC=S.B+(H+Al); V%=(S.B/CTC)*100.

Nota²: Metodologia: IAC; Extratores: Resina (P).

Fonte: Autor (2022)

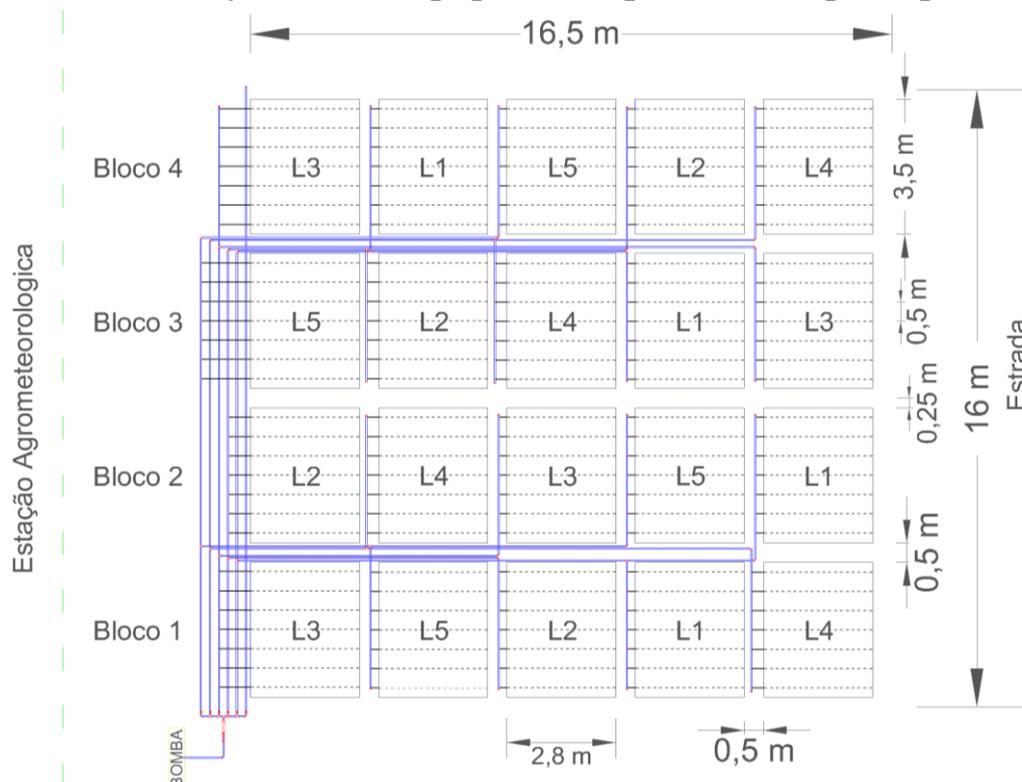
A calagem e adubação foram determinadas com base na análise química do solo e seguiu recomendação de Cavalcante (2008) para o estado de Pernambuco. Aplicaram-se 2,3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico no fundo do sulco (0,2 m de profundidade com espaçamento de 0,5 m) para elevar a saturação por base (V%) para 70%. A adubação de fundação correspondeu a 76 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (19% de P₂O₅) e 34,7 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (57,8% de K₂O). O nitrogênio (ureia, 45% de N) foi fornecido na cobertura, dividido em duas aplicações. A primeira aplicação ocorreu 15 dias após o semeio (DAS), durante o 1º desbaste (25 kg ha⁻¹ de N); e a segunda aplicação (25 kg ha⁻¹ de N) foi efetuada 20 dias após a primeira cobertura.

A cultivar utilizada no experimento foi a BRS Seda, semeada em 08 de outubro de 2021. Semearam-se cinco sementes por cova, espaçadas a 0,5 metros entre linhas e 0,12 m entre plantas. Quinze dias após o semeio, quando as plantas apresentavam entre quatro e cinco folhas foi realizado o primeiro desbaste para três plantas por cova. O desbaste para uma planta por cova (167 mil plantas ha⁻¹) aconteceu quando as plantas apresentaram altura do dossel superior a 0,12 m, o que resultou em população final de 167 mil plantas ha⁻¹ (ARRIEL et al., 2009).

A irrigação realizada com o método de irrigação localizada, com sistema de gotejamento superficial, e fitas gotejadoras da marca Drip Plan, com diâmetro interno de 16 mm, espaçadas 0,5 m, com gotejadores a cada 0,20 m, vazão de 1,6 L h⁻¹ e pressão de serviço de 1 bar. O sistema foi pressurizado com bomba de 1 cv da marca HAMER. O turno de rega foi de 1 dia e o tempo de aplicação variou de acordo com o tratamento, através de uma relação direta entre vazão e lâmina do tratamento.

O delineamento estatístico foi em blocos casualizados com quatro repetições e cinco tratamentos. Os tratamentos consistiram em lâminas de irrigação baseadas no percentual da evapotranspiração da cultura (ET_c): 50 (L1), 75 (L2), 100 (L3), 125 (L4) e 150 (L5) % ET_c . Cada parcela foi formada por sete linhas de 2,8 m de comprimento com 0,5 metros entre linhas, área útil de 9,8 m² (**Figura 2**).

Figura 2. Distribuição dos tratamentos (L – Lâminas), em delineamento de blocos casualizados do experimento com gergelim, na região de Rio Largo, Alagoas.



4.3 Variáveis agrometeorológicas e balanço hídrico

Os dados agrometeorológicos, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento a 2 metros de altura, radiação, precipitação pluvial, para os cálculos do balanço hídrico (BH) foram cedidos pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) do CECA/UFAL, coletados em uma estação meteorológica semiautomática, distante 30 m da área experimental.

O armazenamento de água no solo (ARM) foi calculado diariamente com o balanço hídrico sequencial de Thornthwaite & Matter (1995) adaptado por Lyra et al. (2010) para culturas agrícolas. A capacidade de água disponível (CAD, mm) foi calculada conforme Equação 1, para cada fase fenológica. A profundidade do sistema radicular variou de 0,1 a 0,4 (z, m), do plantio à senescência (a cultura atinge no máximo 0,40 m

devido à presença de uma camada de impedimento). Os valores da umidade do solo em base úmida na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) foram determinados pela curva de retenção da água no solo.

$$CAD = 1.000(\theta_{cc} - \theta_{pmp})z \quad 1$$

em que, CAD: capacidade de água disponível (mm); θ_{cc} : capacidade de campo (0,244 m^3m^{-3}); θ_{pmp} : ponto de murcha permanente (0,148 m^3m^{-3}); z: profundidade do sistema radicular. A água facilmente disponível (AFD, mm), foi determinada através do produto entre CAD e fator de depleção, considerado 0,6, conforme boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998). A umidade crítica (UC, mm) foi calculada através da subtração da CAD menos AFD.

4.4 Crescimento e desenvolvimento

As variáveis de crescimento foram avaliadas quinzenalmente, a partir de 23/10/2021 (15 dias após o semeio), com total de sete avaliações ao longo do ciclo. Em cada parcela, uma amostra de quatro plantas foi colhida para a determinação das variáveis (fitomassa seca total da parte área – FMSTA, $kg\ ha^{-1}$; altura das plantas – AP, cm; área foliar – AF, cm^2 e índice de área foliar – IAF, adimensional).

A FMSTA representou as massas de caule e folha da amostra, após secagem em estufa de ventilação forçada, a 65 °C por aproximadamente 72 horas. Ajustou-se o modelo sigmoidal para determinar a FMSTA ajs em função dos GDA (Equação 2).

$$FMSTA\ ajs = \frac{a}{1 + \exp\left[-\frac{(GDA - X_0)}{b}\right]} \quad 2$$

em que, “a” representa o valor da máxima fitomassa seca total, $kg\ ha^{-1}$; GDA – graus-dia acumulados, °C dia; “X₀” valor do GDA que atinge máxima FMSTA e “b” é o número de GDA necessário para iniciar o crescimento.

A AP foi mensurada com uma fita métrica, sendo a distância do colo ao ápice caulinar da planta. O modelo logístico (Equação 3) foi ajustado à variável dependente altura de planta, em função dos graus-dia (TEI et al., 1996).

$$w = \frac{W_f}{\left[1 + \left(\frac{W_f}{W_0} - 1\right) \exp(-R \times GDA)\right]} \quad 3$$

Em que, w representa a altura da planta, cm; W_o e W_f correspondem ao crescimento inicial e final do ciclo da cultura (cm), respectivamente; R é a taxa máxima de crescimento relativo, $\text{cm cm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e GDA é consiste nos graus-dia acumulados, $^\circ\text{C}$.

Para determinar a AF (cm^2) foi utilizado o método dos discos, que relaciona a MFF (g) da amostra com a massa de uma subamostra com área conhecida (MFAC, g). Para tanto, de cada amostra retiraram-se dois discos (diâmetro do disco de 2,715 cm) de folhas para quantificar a MFAC (Equação 4).

$$AF = \frac{MFF \times AC}{MFAC} \quad 4$$

O IAF foi obtido através da razão entre a área foliar e área do solo ocupada pelas plantas. O modelo Peak Log Normal, 3 parâmetros (Equação 5) foi ajustado para a estimativa dos valores de IAF, em função dos GDA.

$$IAF \text{ ajs} = a \exp \left\{ -0,5 \times \left[\frac{\ln\left(\frac{GDA}{X_o}\right)}{b} \right]^2 \right\} \quad 5$$

Em que, IAF ajs (índice de área foliar ajustado), adimensional; “a” é o valor de IAF ajs máximo, adimensional; “b” é o grau de decaimento da variável dependente (IAF ajs); X_o é o valor de GDA quando o IAF ajs é máximo, $^\circ\text{C dia}$; e GDA são os graus-dia acumulados, $^\circ\text{C dia}$.

A fenologia da cultura foi monitorada a cada dois dias e dividida em quatro fases: a primeira, da semeadura até 10% da cobertura do solo; a segunda, de 10% da cobertura do solo até a floração; a terceira, da floração até a maturação dos grãos; e quarta, da maturação à colheita (GRILO JUNIOR et al., 2013; JAHAN; MAHALLATI, 2022). O período de maturação inicia-se a partir do amarelecimento dos ramos e flores (ANTONIASSI et al., 2013). O desenvolvimento da cultura foi relacionado com os Graus-dia acumulados ($^\circ\text{C dia}$), determinados por meio da Equação 6.

$$GDA = \sum_{i=0}^n (Tm_i - Tb) \quad 6$$

Em que, GDA corresponde aos graus-dia acumulados; T_{m_i} é a temperatura do ar média no dia “i” (°C), com “i” entre 0 (dia da sementeira) e “n” dias (dias considerados), e T_b representa a temperatura basal inferior (°C), adotada igual a 10°C (MEENA; RAO, 2013).

4.5 Função de Produção

A produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹) foi obtida a partir da massa seca dos grãos, colhidos em 1,5 m² (colheram-se 3 m de plantas). Quantificou-se a massa fresca e seca (após 72 horas em estufa de ventilação forçada a 60°C) dos grãos. A umidade foi corrigida para 6% (Equação 7).

$$PG = PU \times \frac{100-UA}{100-UD} \quad 7$$

Em que, PG é a produtividade de grãos a 6% de umidade; PU é a massa (kg) úmida de grãos em 1 hectare; UA é a umidade atual dos grãos e UD é a umidade desejada.

Ajustou-se o modelo polinomial de segundo grau (Equação 8) para relacionar produtividade de grãos e lâmina hídrica (lâminas de irrigação aplicadas) (AGUIAR, 2005).

$$PGs = b_0 + b_1L + b_2L^2 \quad 8$$

Em que, PGs é a produtividade de grãos estimada (kg ha⁻¹), L é a lâmina hídrica total (mm), b_0 é a constante e b_1 e b_2 são os coeficientes da equação.

O ajuste da curva de produtividade foi forçado para origem ser zero ($b_0 = 0$), uma vez que, biologicamente, a planta não se desenvolve sem água. A análise física da produtividade foi feita para identificar a lâmina hídrica total que proporciona a PG máxima de grãos. Realizou-se a estimativa da PGs máxima igualando a primeira derivada da Equação 8 a zero, conforme as Equações 9, 10 e 11.

$$0 = b_1 + 2b_2L \text{ (primeira derivada da Eq. 2)} \quad 9$$

$$L_{\text{máx}} = \frac{-b_1}{2b_2} \quad 10$$

$$Y_{m\acute{a}x} = b_0 - \frac{b_1^2}{4b_2} \quad 11$$

Em que, $L_{m\acute{a}x}$ é a quantidade de água (mm) que proporciona a PGs máxima.

4.6 Avaliação estatística

Os dados de fitomassa seca total da parte aérea, kg ha^{-1} (FMSTA), altura de plantas, cm (AP) e índice de área foliar, adimensional (IAF) foram submetidos à análise de variância (teste F) no *Software* SISVAR (Sistema de Análise de Variância). As variáveis que apresentaram diferenças estatísticas significativas em função às lâminas totais de água pelo teste F foram submetidas à análise de regressão polinomial e avaliado o coeficiente de determinação (R^2) e aplicado o teste de Student (t) nos coeficientes da regressão (linear e angular) (FERREIRA, 2018).

Os modelos de crescimento (Sigmoidal, Logístico e Peak Log) foram avaliados com base no e coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajs}), conforme a Eq. e 12.

$$R^2_{ajs} = 1 - (1 - r^2) \times \frac{n-1}{(n-k)} \quad 12$$

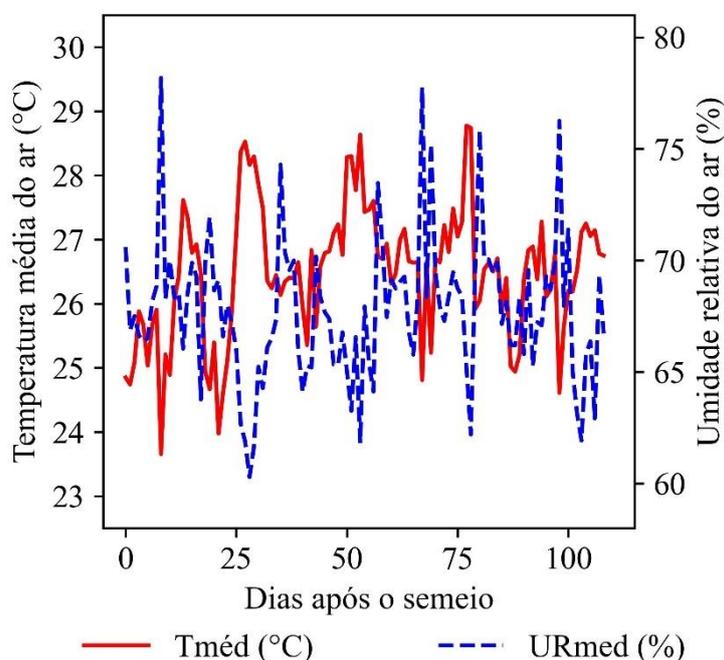
Em que; S_i , indica valores simulados e M_i valores medidos, n é o número de observações, S_{si} é o desvio padrão dos dados simulados, S_{mi} é o desvio padrão dos dados medidos; $(n - k)$ é o grau de liberdade e k corresponde ao número de coeficientes estimados (variáveis utilizadas).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Condições ambientais

A temperatura e a umidade relativa (UR) do ar apresentam comportamento inversamente proporcional, à medida que ocorre aumento da temperatura, a UR diminui. As médias das temperaturas do ar mínima e máxima obtidas foram de 23,7 e 28,8°C aos 8 e 77 DAS, 16/10/2021 e 24/12/2021, respectivamente. A UR média diária mínima e máxima obtidas durante o período experimental variou de 60,3 a 78,2%, obtidas nos dias 05/11/2021 e 16/10/2021, aos 28 e 8 DAS, respectivamente (**Figura 3**).

Figura 3. Variação da temperatura e umidade relativa média do ar durante o período experimental (08/10/2021 a 24/01/2022) de Rio Largo, Alagoas.

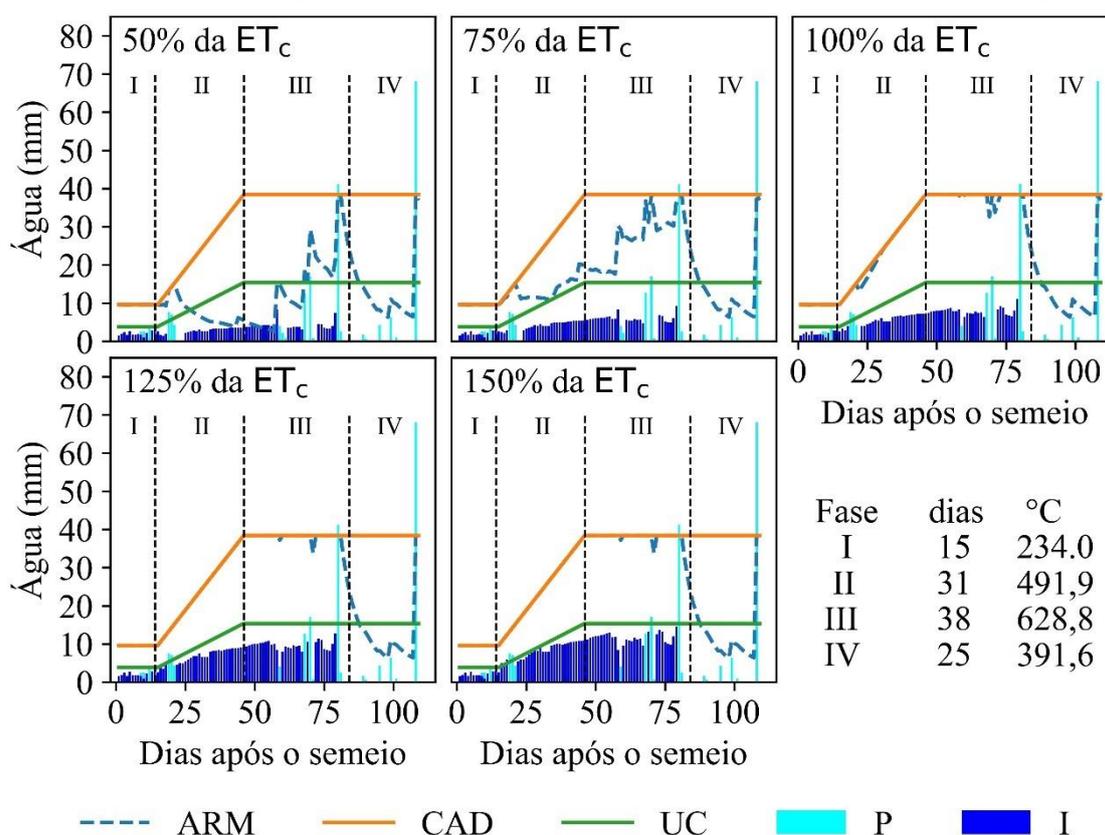


A temperatura e UR do ar média foram 26,48 °C e 67,74%. As temperaturas ideais para o crescimento e desenvolvimento do gergelim situam-se entre 25 e 30°C (PEREIRA et al., 2017), inclusive para a germinação das sementes, corroborando com as encontradas no presente trabalho. Infeld; Silva (1987) afirmam que o aumento da temperatura acelera o desenvolvimento da planta, reduzindo o seu ciclo.

A precipitação total durante o ciclo do gergelim foi de 212,87 mm, distribuídos em 38 dias, com um evento de precipitação a cada 2,87 dias. Durante o período experimental foi observado dois eventos de precipitação elevados 41,14 (79 DAS) e 68,07 (108 DAS), quando a cultura se encontrava na terceira e quarta fase de desenvolvimento, respectivamente. As lâminas aplicadas totais foram de 207,03 (L1), 298,60 (L2), 403,25

(L3), 508,97 (L4) e 603,11 (L5) mm. O excesso hídrico, água acima da capacidade de campo, variou de 77,8 (L1) a 396,2 (L5) mm. Enquanto a deficiência hídrica variou de 131,2 (L1) a 53,5 (L5) mm (**Figura 4**). O excesso de água no solo ao longo do desenvolvimento das plantas aumenta a incidência de doenças, o que pode reduzir a produtividade dos cultivos (WEISS, 1983)

Figura 4. Armazenamento de água no solo (ARM), capacidade de água disponível (CAD), umidade crítica (UC), precipitação (P) e irrigação (I) em função dos dias após o semeio e lâminas de irrigação, no período de 08/10/2021 a 24/01/2022 em Rio Largo, AL.



5.2 Crescimento e Desenvolvimento da cultura

A cultura completou o ciclo com 109 dias, 1.746,38°C dia, distribuídos em 15, 31, 38, 25 dias e 234, 491, 628 e 391°C dia, nas fases I, II, III e IV, respectivamente. A terceira fase, intermediária, que compreende o período da floração até o início da maturação foi responsável por acumular 36% de toda temperatura acumulada ao longo do ciclo. Nessa mesma fase, houve maior excesso hídrico, 21 (L1), 42 (L2), 117 (L3), 179 (L4) e 234 (L5) mm para todas os tratamentos. Isso ocorreu porque as lâminas foram aplicadas em função da ET_c e a cultura demanda mais água e temperatura para atingir a maturação.

O estudo da fenologia das culturas é essencial para identificar os períodos críticos e auxiliar em tomadas de decisão. Estudar a duração das fases é uma alternativa para aumentar a eficiência do manejo hídrico. Allen et al. (1998), encontrou a necessidade de 20, 30, 40, 20, dias para o gergelim completar as fases I, II, III e IV, respectivamente. Lourenço et al. (2018), quantificaram a duração das fases fenológicas do gergelim BRS Anahi e obtiveram durações de 13, 22, 33 e 14 dias por fase.

A resposta das variáveis de crescimento em função das lâminas aplicadas foi explicada pela regressão polinomial do segundo grau ($R^2 > 70\%$). Os coeficientes das regressões (constante, coeficiente linear e angular) foram significativos a 1% pelo teste t. Para obter máxima produção de FMSTA final ($12.924 \text{ kg ha}^{-1}$), máxima AP final (256,62 cm) e máximo IAF (12,06) são necessários 675, 696 e 714 mm, respectivamente. Esse ajuste demonstra que o gergelim é sensível ao déficit hídrico no solo, excesso e deficiência hídrica (LIMA et al., 2018). Mesquita et al. (2013) quantificou a FMSTA e AP do gergelim sob cinco níveis de irrigação 25, 50, 75, 100 e 150 % da evapotranspiração de referência (ET_o) e identificaram melhores resultados de regressão para o modelo polinomial do primeiro grau. Dificilmente os modelos de regressão linear apresentam coeficientes de determinação superiores a 80%, porque as plantas, submetidas ao excesso hídrico, declinam seu crescimento (SILVA et al., 2015).

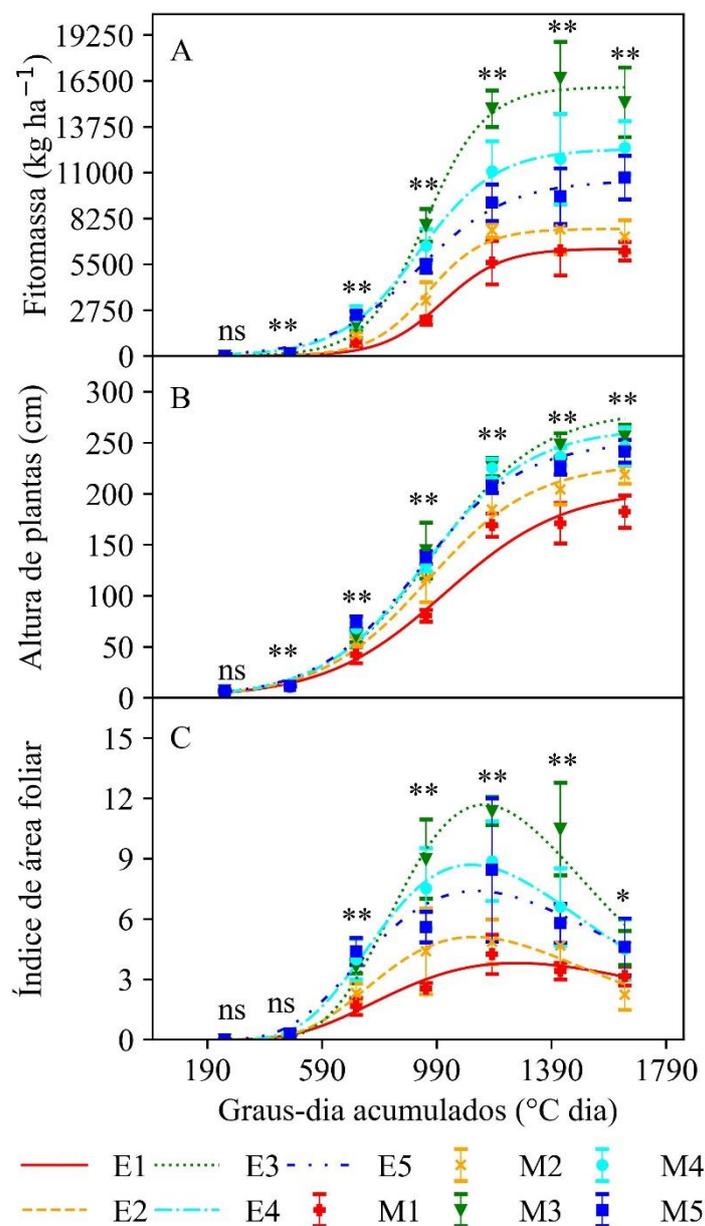
A análise estatística das variáveis de crescimento está apresentada na Tabela **4Erro! Fonte de referência não encontrada.** Os tratamentos apresentam diferença estatística significativa ao nível de 1% ($P < 0,01$) para FMST e AP a partir dos 30 DAS e 45 DAS para o IAF (Figura 5). Ribeiro et al, (2018) analisaram o crescimento de três cultivares de gergelim sob duas épocas de cultivo, em Mossoró RN, e concluíram que o crescimento das plantas era lento até 35 dias após o semeio, o que justifica, também, os resultados observados nessa pesquisa.

Tabela 4. Resumo das análises de variância para as variáveis de crescimento das sete avaliações do gergelim sob níveis de reposições hídricas.

Quadrados médios								
Fitomassa seca total								
FV	GL	DAS						
		15	30	45	60	75	90	105
Lâminas	4	2,88 ^{ns}	5566,97**	1.982.874,07**	21.839.246,41**	50.007.680,24**	66.449.839,63**	55.151.571,84**
Bloco	3	6,64 ^{ns}	279,93 ^{ns}	184.321,33 ^{ns}	933.905,92 ^{ns}	2.091.736,00 ^{ns}	1.204.118,17 ^{ns}	4.601.651,09 ^{ns}
Resíduo	12	1,56	68,04	163.617,35	909.537,69	1.968.105,92	6.124.743,18	2.168.144,41
CV (%)		21,67	7,15	22,92	18,89	14,54	23,79	14,2
Altura da planta								
FV	GL	DAS						
		15	30	45	60	75	90	105
Lâminas	4	1,43 ^{ns}	0,43**	615,17**	2.567,15**	2.509,00**	3698,62**	3484,49**
Bloco	3	0,27 ^{ns}	0,07 ^{ns}	43,04 ^{ns}	282,14 ^{ns}	89,48 ^{ns}	184,47 ^{ns}	255,10 ^{ns}
Resíduo	12	0,45	0,06	52	402,54	177,78	248,84	244,66
CV (%)		10,37	2,1	12,01	16,43	6,59	7,26	6,83
Índice de área foliar								
FV	GL	DAS						
		15	30	45	60	75	90	105
Lâminas	4	0,000002 ^{ns}	0,005 ^{ns}	5,43**	25,78**	35,22**	28,72**	4,61*
Bloco	3	0,000003 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,58 ^{ns}	2,54 ^{ns}	9,16 ^{ns}	2,82 ^{ns}
Resíduo	12	0,000002	0,003	0,55	3,97	5,81	1,5	1,18
CV (%)		16,77	24,94	23,1	34,3	31,89	19,8	28,5

FV – fonte de variação; CV – coeficiente de variação; GL – graus de liberdade; ** Significativo ao nível de 1% de Probabilidade pelo teste F; * Significativo ao nível de 5% de Probabilidade pelo teste F; ^{ns} Não significativo ao nível de 5% de Probabilidade pelo teste F.

Figura 5. Curvas de crescimento das variáveis fitomassa seca total (A), altura de plantas (B) e índice de área foliar (C) em função da lâmina de irrigação, na região de Rio Largo, Alagoas.



A FMSTA máxima (16.678,79 kg ha⁻¹) observada foi quantificada no tratamento L3, quando a cultura acumulou 1.420,98 GDA, a menor FMSTA máxima (6.336,85 kg ha⁻¹) foi observada no tratamento L1, com isso, repor 100% da água evapotranspirada proporcionou um incremento de 163,20%. A FMSTA máxima do tratamento L2 (7.601,01 kg ha⁻¹) também foi observada aos 1.420,98 GDA, enquanto para os tratamentos L4 (12.195,09 kg ha⁻¹) e L5 (10.701,62 kg ha⁻¹) foram observadas aos 1.645,67 GDA. Com isso, aplicar uma quantidade de água superior à necessidade hídrica da cultura resulta no atraso da senescência da planta.

Os tratamentos L4 e L5 apresentaram maior taxa de crescimento absoluto até os 709,35 GDA. Esse período compreende o início da floração, portanto, o excedente hídrico na fase 3 provoca redução na taxa de crescimento. Dessa forma, a AP máxima observada (256,25 cm) ocorreu no tratamento L3 aos 1.645,68 GDA, superior em 40,5% a menor AP máxima (182,42 cm), obtida no tratamento L1. Silva *et al.* (2014) avaliaram a cultura do gergelim em Barbalha, CE, em função de lâminas de irrigação e genótipos, e obtiveram uma AP final média de 180 cm com a Cultivar BRS Seda, este resultado foi inferior em 22,4% ao encontrado neste trabalho. O tratamento L3 apresentou maiores valores de IAF a partir dos 952,86 GDA, após a cultura entrar na fase de florescimento. Esse tratamento proporcionou IAF máximo (11,37) aos 1.183,42 GDA, com diferença de 168% do menor IAF máximo (4,24), observado na L1.

O ajuste do modelo sigmoidal para variável FMSTA apresentou coeficiente “a” que indica máxima FMSTA e o “X0” que corresponde ao valor de GDA quando a cultura estava no ápice da FMSTA significativos ao nível de 1% pelo teste t. A quantidade mínima de GDA para o crescimento inicial da cultura foi significativa a 5% para L2 e a 1% para as demais lâminas. O modelo logístico apresentou coeficiente de crescimento inicial (W_0) significativo a 5% pelo teste t no ajuste do tratamento L1. Os coeficientes de crescimento final (W_f) e taxa máxima de crescimento relativo (R) foram significativos a 1% pelo teste t, para todos os ajustes. Os coeficientes do modelo Peak Logaritmo normal foram significativos a 1% pelo teste t (Tabela 5).

Tabela 5. Parâmetros ajustados dos modelos de crescimento para o gergelim cultivado sob lâminas de irrigação para fitomassa seca total da parte aérea (kg ha^{-1}), altura da planta (cm) e índice de área foliar, respectivamente. Coeficientes de determinação ajustados (R^2_{ajs}).

Sigmoidal				
Lâmina	A	B	x0	R^2_{ajs}
1	6.435,8** (± 242)	104,4** ($\pm 18,8$)	1.010,5** ($\pm 21,7$)	0,989
2	7.623,6** ($\pm 405,1$)	98,5* ($\pm 30,9$)	958,1** ($\pm 30,1$)	0,975
3	16.124,1** ($\pm 477,6$)	104,1** ($\pm 17,0$)	951,5** ($\pm 17,4$)	0,992
4	12.425,3** ($\pm 257,0$)	135,6** ($\pm 11,8$)	926,7** ($\pm 13,9$)	0,997
5	10.521,4** ($\pm 426,6$)	155,8** ($\pm 23,4$)	928** ($\pm 28,4$)	0,989

Logístico				
	Wf	Wo	R	R^2_{ajs}
1	204,8** ($\pm 32,8$)	1,53* ($\pm 0,41$)	0,0048** ($\pm 0,0005$)	0,982
2	229,6** ($\pm 33,1$)	1,34* ($\pm 0,38$)	0,0054** ($\pm 0,0006$)	0,983
3	281,6** ($\pm 57,8$)	1,48 ^{ns} ($\pm 0,58$)	0,0054** ($\pm 0,0007$)	0,968
4	264,1** ($\pm 52,3$)	1,32 ^{ns} ($\pm 0,53$)	0,0056** ($\pm 0,0008$)	0,968
5	251,1* ($\pm 55,0$)	1,35 ^{ns} ($\pm 0,63$)	0,0056** ($\pm 0,0009$)	0,957

Peak Log normal				
	A	B	x0	R^2_{ajs}
1	3,80** ($\pm 0,258$)	0,412** ($\pm 0,06$)	1.268** ($\pm 63,5$)	0,945
2	5,10** ($\pm 0,338$)	0,345** ($\pm 0,03$)	1.119** ($\pm 31,5$)	0,953
3	11,68** ($\pm 0,779$)	0,296** ($\pm 0,03$)	1.155** ($\pm 27,5$)	0,957
4	8,69** ($\pm 0,233$)	0,345** ($\pm 0,01$)	1.110** ($\pm 12,5$)	0,992
5	7,39** ($\pm 0,667$)	0,393** ($\pm 0,06$)	1.128** ($\pm 52,2$)	0,909

** Significativo ao nível de 1% de Probabilidade pelo teste T.

* Significativo ao nível de 5% de Probabilidade pelo teste T.

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de Probabilidade pelo teste T.

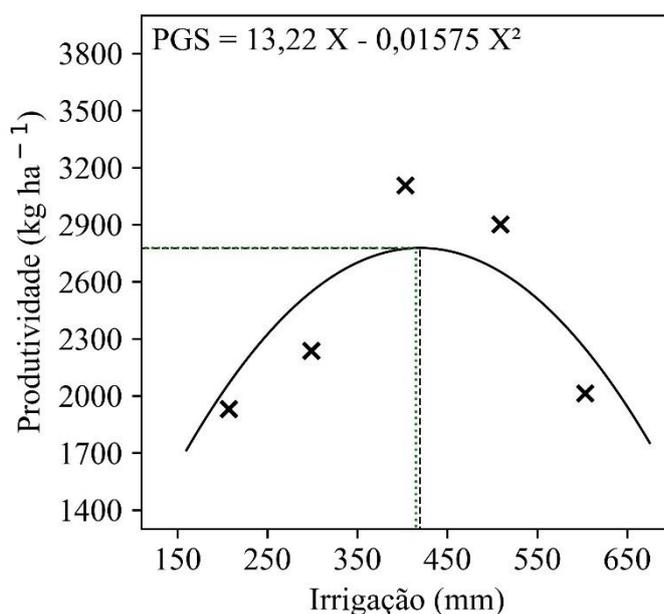
Os coeficientes de determinação ajustados (R^2_{ajs}) foram acima de 0,975; 0,957 e 0,909 para os modelos sigmoidal, logístico e Peak Log normal, respectivamente. Araújo et al. (2022) ajustaram o modelo sigmoidal para biomassa total da melancia, em Tupã, SP, e obtiveram valor de R^2 de 98%. Bender et al. (2020) ajustaram o modelo Logístico para altura de planta (cm) do algodão no cerrado baiano e encontraram R^2_{ajs} superiores a 0,99. Moraes et al. (2017), avaliaram o modelo peak log normal, 3 parâmetros para cultura do milho em Rio Largo, Al e encontraram valores de R^2 superiores a 0,91. Esses resultados, juntamente com os encontrados nessa pesquisa, indicam que os modelos

matemáticos empíricos não lineares estimam satisfatoriamente o crescimento das culturas.

5.3 Função de produção

A menor PG ($1.931,17 \text{ kg ha}^{-1}$) foi observada no tratamento L1 e a maior no tratamento L3 ($3.107,27 \text{ kg ha}^{-1}$), que proporcionou um incremento de 37,8%. A função de produção de grãos do gergelim ajustou-se ao modelo polinomial do segundo grau e foi significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, com coeficiente de determinação elevado (R^2 igual a 0,99), indicando excelente ajuste da equação. Os coeficientes ajustados, linear e angular, foram significativos a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t. A regressão subestimou em 20,7% a produtividade da L3. A lâmina de irrigação que proporciona PG de máxima eficiência física ($2.777,44 \text{ kg ha}^{-1}$) foi de 419,89 (Figura 6).

Figura 6. Função de produção e produtividade de grãos do gergelim, cultivar BRS Seda, em função da lâmina de irrigação em Rio Largo, Alagoas, no período de 08/10/2021 a 24/01/2022.



× Observada — Simulada

A regressão do segundo grau é a equação matemática indicada para modelagem da produtividade agrícola (SILVA et al., 2015). Silva et al. (2018) analisaram o crescimento do milho sob níveis de irrigação, no Estado de Alagoas e obtiveram coeficiente de determinação de 0,97 no ajuste do modelo polinomial do segundo grau para estimar a produtividade agrícola de grãos de milho.

Foi observado máximo crescimento e produtividade das plantas no tratamento intermediário da quantidade de água fornecida (L3, 100% da ET_c). Esse comportamento está relacionado aos processos físicos e fisiológicos, como teores de água nas folhas que alteram as condições hídricas e influenciam a abertura e fechamento estomático, provocando assim alterações na transpiração e taxa fotossintética das plantas, por consequência afeta diretamente o crescimento e produtividade das culturas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

6. CONCLUSÃO

1. A fenologia do gergelim é dividida em quatro fases e apresentam duração de 15, 31, 38 e 25 dias, com soma térmica, por fase de 234, 491, 628, 391°C dia;
2. O crescimento do gergelim sofre efeito significativo para lâmina de irrigação;
3. Os modelos de crescimento sigmoidal, logístico e peak log normal simulam com boa eficiência a fitomassa seca total, altura das plantas e índice de área foliar, respectivamente;
4. A lâmina de máxima eficiência física para a cultura do gergelim, nas condições de clima tropical é de 419,89mm.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J. V. **A função de produção na agricultura irrigada**. Fortaleza: Imprensa universitária. 2005. 196p.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiração das culturas: diretrizes para o cálculo da necessidade de água nas culturas Documento de Irrigação e Drenagem 56, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, Roma, Itália, 1998.

ALLEN, R. G.; WRIGHT, J. L.; PRUITT, W.O. **Water requirements**. In: Hoffman GJ, Evans RG, Jensen ME (eds) Design and operation systems, 2nd edn. ASABE, Michigan, pp 208–288. 2007.

ALVAREZ, R. C. F.; RODRIGUES, J.D.; MARUBAYASHI, O.M.; ALVAREZ, A.C.C.; CRUSCIOL. Análise de crescimento de duas cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 4, p. 611-616, 2005

AMARAL, J. A. B. DO; SILVA, M. T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do gergelim por manejo de irrigação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.12, p.25-33, 2009.

ANTONIASSIR., ARRIEL, N. H. C., GONÇALVES, E. B., FREITAS, S. C. de F., ZANOTTO, D. L., BIZZO, H. R. Influência das condições de cultivo na composição da semente e do óleo de gergelim. *Rev. Ceres* vol.60 no.3 Viçosa May/June 2013

ARAGÃO, V. F.; FERNANDES, P. D.; GOMES FILHO, R. R.; CARVALHO, C. M. DE; FEITOSA, H. DE O. FEITOSA, E. DE O. Produção e eficiência no uso de água do pimentão submetido a diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.6, p.207-216, 2012.

ARAÚJO, H. S., MORAES, C. C., RECO, P. C., MATTAR, G. S., & PURQUERIO, L. F. V. Crescimento e acúmulo de nutrientes do híbrido Explorer de melancia. *Científica*, v. 50, p. 1-8, 2022.

ARSLAN, H.; HATIPOGLU, H.; KARAKUS, M. Şanlıurfa yöresinde tarımı yapılan susam genotiplerinden seçilen bazı hatların ikinci ürün koşullarında verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Turk J Agric Res*, v.1, p.109–116, 2014

ARRIEL, N.H.C., BELTRÃO, N.E.DE.M., FIRMINO, P.DE.T. EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde.

BARROS, V.S.; COSTA, R.N.T.; AGUIAR, J.V. Função de produção na cultura do melão para níveis de água e adubação no vale do Curú-CE. *Irriga, Botucatu*, v.7, n.2, p.99, 2002

BASTUG, R.; KARACA, C.; BUYUKTAS, D.; AYDINSAKIR, K.; DINC, N. The effects of deficit irrigation practices on evapotranspiration, yield and quality characteristics of two sesame varieties (*Sesamum indicum* L.) grown in lysimeters under the Mediterranean climate conditions. *Irrigation Science*, v. 1, 2021

BENDER, E. P., BATISTA, J. N., LYRA, G. B., POLIDORO, J. C., JANTALIA, C. P. Modelagem do crescimento e produtividade do algodão em cultivo comercial no cerrado baiano. 2020.

BENINCASA, M.M.P. Análise de Crescimento de Plantas: Noções Básicas. 2ª ed. Jaboticabal: Funep, 41p. 2003.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. Porto Alegre: Emater-RS. Ascar, 2014. 84p.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 8. Ed. Viçosa, MG:UFV, 2006. 625p.

BRANDELERO, E. M. Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no município de Cruz das Almas BA. 2001.63f.Dissertação(Mestrado em Fitotecnia) -Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2002.

CARVALHO, O. M. Classificação e característica físico-hídrica de solos de Rio Largo, cultivados com cana-de-açúcar. 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2003.

CARVALHO, D. R.; MASCIMENTO, P. G. M.L.; SILVA, M. G.O.; MESQUITA, H. C.; CUNHA, J. L.X. Comparação de métodos para estimativa da área foliar do *Myrciaria tenella* O. Berg. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 8, n. 4, p. 01-06, 2012.

CARVALHO, A. L. D., SOUZA, J. L. D., LYRA, G. B., PORFIRIO, A. C. S. Ocorrência de períodos secos na região de Rio Largo, Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, p.173-180, 2013.

CAVALCANTE, R. B. L.; MENDES, C. A. B. Modelagem do balanço hídrico em povoamentos de eucalipto sob diferentes manejos como auxílio ao gerenciamento do impacto hidrológico da atividade. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 268-280, 2012.

CAVALCANTI, F. J. A. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3. ed. Recife, PE: IPA, 2008. 212 p

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento de safra: grãos v.8– Safra 2020/21, n.12 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-97, setembro 2021.

Disponível:Em:<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/39034_3ccad80c555e633d26ed7fb5e9393037>. Acesso em: 26/08/2022.

CORRÊA, S.T.R.; LORENÇONI, R.; NETO, D.D.; SCARPARE, F.V.; VIVIAN, R.; RUIZ, E.T. Aplicações e limitações da modelagem em agricultura: revisão. *Revista de Agricultura*, v. 86, n. 1, p. 1-13, 2011

CHAVES, S. W. P.; AZEVEDO, B. M. DE; MEDEIROS, J. F. DE; BEZERRA, F. M. L.; MORAIS, N. B. DE. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. *Revista Ciência Agrônômica*, v.36, p.262-267, 2005

CUNHA, JORGE L. X. L.; COELHO, MARIA E. H. ; ALBUQUERQUE, ABEL W. DE ; SILVA, CICERO A. ; SILVA JÚNIOR, ANTÔNIO B. DA ; CARVALHO, ISLAN D. E. DE . Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)*, v. 19, p. 1021-1027, 2015.

DERVIS, O. Çukurova koşullarında buğdaydan sonra ikinci ürün susamin su tüketimi- Rapor.n. 67, Tarsus, 1986.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 2000. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

EL-TANTAWY, M.M.; E-SAMANODY, M.K.M.; KHALIFA, H.E.; EID, H.M. Effect of irrigation intervals and potassium fertilizer levels on sesame yield and water relations. *Meteorol Res Bullet*, v.17, p.113–130, 2003

FAO - Food and Agriculture Organization.FAOSTAT Crops. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso: 10 de Dezembro de 2022.

FERREIRA JUNIOR, R. A., SOUZA, J. L. D., ESCOBEDO, J. F., TEODORO, I., LYRA, G. B., ARAÚJO NETO, R. A. D. Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 798-804, 2014.

FERREIRA, P. V. (2018). Estatística experimental aplicada às Ciências Agrárias. Viçosa: UFV.

FIRMINO, P. D. T., ARRIEL, N., Beltrão, N. D. M., NAIR HELENA CASTRO ARRIEL, C. N. P. A., NAPOLEAO ESBERARD DE MACEDO BELTRAO, C. N. P. A., & PAULO DE TARSO FIRMINO, C. N. P. A. Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009.

FISCH, S.T.V.; NOGUEIRA JR, R.J.W.; MANTOVANI, W. Fenologia reprodutiva de *Euterpe edulis* Mart. na Mata Atlântica (Reserva Ecológica do Trabiju, Pindamanhangaba – SP). *Revista Biociências de Taubaté*, v.6, n.2, p.31-37, 2000.

FONTES, G.; BRAUN, B.F.; NETO, H.F.; VIEIRA, J.B.F.; PADILHA, S.S.; ROCHA, R.C.; ROCHA, E.M.M. Filariose linfática em Belém, Estado do Pará, Norte do Brasil e a perspectiva de eliminação, **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 38, n.2, p. 131-136, 2005

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP. 1993. 42p.

GOMES, A. H. S., CHAVES, L. H. G., FILHO, J. D. A. F.; DE SOUZA, F. G. Fitomassa na cultura do gergelim irrigado sob doses de nitrogênio. In: Anais Do II Inovagri International Meeting-2014. 2014. p. 4907-4911.

GONÇALVES, F.M. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

GRILO JÚNIOR, J. A. S.; AZEVEDO, P. V. DE. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim 'BRS Seda' na agrovila de Canudos, em Ceará Mirim (RN). **Revista Holos**, v.2, p.19-33, 2013

INFELD, J.A.; SILVA, J.B. Somas térmicas da duração da fase vegetativa do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETOROLOGIA, 5., Belém-PA, Anais... Belém: SBA, p. 160-161, 1987.

JAHAN, M.; NASSIRI-MAHALLATI, M., MAHDI. Modeling the response of sesame (*Sesamum indicum* L.) growth and development to climate change under deficit irrigation in a semi-arid region. **PLOS Climate**, v. 1, n. 6, p. e0000003, 2022.

LANGHAM, D.R.; RINEY, J.; SMITH, G.; WIEMERS, T. Sesame grower guide. Sesaco Corporation, San Antonio, 2006

LARCHER, W. (2003). *Physiological plant ecology*.

LIMA, M. S., ROCHA, M. D. S., MELO, A. S. D., & Dutra, W. F. Physiological, biochemical and productive changes in sesame genotypes subjected to different rates of water replenishment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 176-182, 2018.

LIMA, G. S., DE LACERDA, C. N., DOS ANJOS SOARES, L. A., GHEYI, H. R., & ARAÚJO, R. H. C. R. Características produtivas de genótipos de gergelim sob diferentes estratégias de aplicação de água salina. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 490-499, 2020.

LOURENÇO, E.R.C.; AZEVEDO, P.V.; PEREIRA, A.R.; BEZERRA, J.R.C.; SABOYA, L.M.F.; ZONTA, J.H. Necessidades hídricas da cultura do Gergelim na região da Chapada do Apodí, Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.11, n.4, p.1275-1289,2018.

LYRA, G. B.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; SANTOS, M. A. Balanço sequencial de água no solo para o manejo da irrigação de baixa frequência e alta intensidade na cana-de-açúcar. **STAB**, v. 28, p. 22-25, 2010.

MEENA, H.M., RAO, A.S. Growing degree days requirements of sesame (*Sesamum indicum* L.) in relation to growth and phenological development in Western Rajasthan. *Current Advances in Agricultural Sciences* 5 (1), 107–110 ISSN: 0975- 2315, 2013.

MEDEIROS, R.P. Componentes do balanço de água e radiação solar no desenvolvimento do milho, em quatro épocas de semeadura, no agreste de Alagoas. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2009.

MESQUITA, J. B. R., DE AZEVEDO, B. M., CAMPELO, A. R., FERNANDES, C. N. V., & VIANA, T. V. A. Crescimento e produtividade da cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) sob diferentes níveis de irrigação. *Irriga*, v. 18, n. 2, p. 364-375, 2013.

MORAIS, R. B. G., LYRA, G. B., SANTOS, L. R., JÚNIOR, C. A. C., CARVALHO, A. L., LYRA, G. B., & SOUZA, J. L. Crescimento e produtividade de milho em diferentes épocas de plantio, nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 16, n. 1, p. 109-119, 2017.

PAVANI, L. C.; LOPES, A. S.; GALBEIRO, R. B. Manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistemas plantio direto e convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 12-21, 2008.

PEREIRA, A. R.; AZEVEDO, P. V.; LOURENÇO, E. R. C.; SABOYA, L. M. F.; BEZERRAS, J. R. C. Evapotranspiração da cultura do gergelim irrigada na região da chapada do Apodí-RN. *Irriga*, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 497-511. 2017.

QUEIROGA, V. P.; FIRMINO, P. de T.; GONDIM, T. M. de S.; CARTAXO, W. V.; SILVA, A. C.; ALMEIDA, F. de A. C. Equipamentos Utilizados no Sistema Produtivo do Gergelim em Diferentes Níveis Tecnológicos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 3, p. 319- 337, 2014.

RIBEIRO, R. M. P., ALBUQUERQUE, J. R. T. D., SANTOS, M. G. D., BARROS JÚNIOR, A. P., GRANGEIRO, L. C., & SILVEIRA, L. M. D. Growth dynamics of sesame cultivars. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 1062-1068, 2018.

RINCÓN, C.A.; SALAZAR, N. Descripción de las etapas de desarrollo del ajonjolí. *Revista Agronomía Tropical*, v.47, p 475-487, 1997.

ROPOKIS, A.; NTATSI, G.; KITTAS, C.; KATSOULAS, N.; SAVVAS, D. Effects of Temperature and Grafting on Yield, Nutrient Uptake, and Water Use Efficiency of a Hydroponic Sweet Pepper Crop. *Agronomy*, v.9, p. 1-15, 2019

SAMAN, O.; OZTURK, O. İkinci ürün susamda farklı ekim sıklıklarının verim ve verim unsurları üzerine etkileri. *Tarım Bilim Araştırma Derg*, v.5, p.118–123, 2012.

SANTOS, E.A. Análise Agrometeorológica na cultura do mamão em regiões de Alagoas. Dissertação (Mestrado em meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2003. 97p

SEAGRI. 2020. Em Alagoas, Seagri realiza início da safra de grãos. <http://www.agricultura.al.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/2020/abril/em-alagoasseagri-realiza-inicio-da-safra-de-graos>

SEPASKHAH, A.R.; ANDAM, M. Crop coefficient of sesame in a semiarid region of I.R. Iran. *Agricultural Water Management*, v. 49, p.51–63, 2001.

SEVERINO, L.S.; BELTRÃO, N. E M; CARDOSO, G.D.; FARIAS, V.A; LIMA, C.L.D. Análise do crescimento e fenologia do gergelim cultivar CNPA G4. *Revista Brasileira de oleaginosas e fibrosas*. v.6, n.3, p. 599-608, 2002.

SILVA, J. C. A.; FERNANDES, P. D.; BEZERRA, J. R. C.; ARRIEL, N. H. C.; CARDOSO, G. Crescimento e produção de genótipos de gergelim em função de lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.408–416, 2014

SILVA, S., DANTAS NETO, J., TEODORO, I., SILVA, S. S., NASCIMENTO, R., BARBOSA, G. V. D. S.. Economic depth of drip irrigation on sugarcane. *Irriga*, v. 1, n. 2, p. 37-46, 2015.

SILVA, T. N.; MORO, G. V.; MORO, F. V.; SANTOS, D. M. M.; BUZINARO, R. Correlation and path analysis of agronomic and morphological traits in maize. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 351-357, 2016

SILVA, A. R.; SANTOS, T. S.; QUEIROZ, D. E. ; GUSMAO, M. O. ; Silva, T. G. F. da . Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 2, p. 377-384, 2017.

SILVA, S., GUIMARÃES, R. F. B., NASCIMENTO, R. D., OLIVEIRA, H. D., TEODORO, I., CARDOSO, J. A. F.; DA PENHA, J. L. Economic Use of Water in Drip-Irrigated Maize in Semi-Arid Region of Brazil. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, p. 364-369, 2018.

SOUZA, J. G. de.; BELTRÃO, N.E.M.; SANTOS, J.W. DOS.S. Fisiologia e produtividade do gergelim em solo com deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v.4, n.3, p.163-169, 2000

SOUZA, J. L.; FILHO, G. M.; LYRA, R. F.; TEODORO, I.; AMORIM, E. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período e 1997-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 131-141, 2004.

STEWART, B.A.; MUSICK, J.T.; DUSEK, D.A. Yield and water-use efficiency of grain sorghum in a limited irrigation-dryland system. *Agron J*, v.75, p.629–634,1983

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, 848p.

TANASKOVIC, V.; CUKALIEV, O.; ROMIC, D.; ONDRASEK, G.; SAVIC, R.; MARKOSKI, M.; NECHKOVSKI, S. Water use efficiency and pepper yield under different irrigation and fertilization regime. *Original scientific paper*, v. 40, n. 1, p. 53–62, 2019

TEI, F.; SCAIFE, A.; AIKMAN, D. P. Growth of lettuce, onion, and red beet. 1. Growth analysis, light interception, and radiation use efficiency. **Annals of Botany**, v. 78, n. 5, p. 633-643, 1996.

TENYANG, N.; PONKA, R.; TIENCHEU, B.; DJIKENG, F. T.; AZMEERA, T.; KARUNA, M. S.; WOMENI, H. M. Effects of boiling and roasting on proximate composition, lipid oxidation, fatty acid profile and mineral content of two sesame varieties commercialized and consumed in Far-North Region of Cameroon. **Food Chemistry**, London, v. 221, n. 1, p. 1308-1316, 2017.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology/Laboratory of Climatology, 1955. 104p. Publications in **Climatology**, vol. VIII, n.1

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia. Brasília: INMET, 2000. 532p.

WEISS, E. A. Sesame. In: WEISS, E. A. Oilseed crops. London: Longman, 1983. p.282-340

ZHANG, H., MIAO, H., & JU, M. Potential for Adaptation to Climate Change Through Genomic Breeding in Sesame. In: KOLE, C. (eds). Genomic Designing of ClimateSmart Oilseed Crops. Springer, Cham. Ed. Springer, p. 371–440, 2019.