



**INSTITUTO
FEDERAL**
Alagoas

**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUSPIRANHAS
CURSO SUPERIOR EM BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

AMANDA CIBELE DA PAZ SOUSA

**EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS DO
MILHO, NO SEMIÁRIDO ALAGOANO**

**PIRANHAS, AL
2021**

AMANDA CIBELE DA PAZ SOUSA

**EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS DO
MILHO, NO SEMIÁRIDO ALAGOANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Alagoas, Campus Piranhas como requisito para a obtenção do título Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Silva
Coorientador: Prof. Dr. Iêdo Teodoro

**PIRANHAS, AL
2021**

FICHA CATALOGRÁFICA



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Piranhas
Biblioteca Tabela Cacilda Damasceno Freitas

S725e Sousa, Amanda Cibele da Paz.

Efeito do déficit hídrico em diferentes fases fenológicas do milho no Semiárido alagoano./Amanda Cibele da Paz Sousa.–2021.

1CD-ROM: il., col. (1 arquivo, 1,668 KB).

CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico com 52 folhas, acondicionado em caixa acrílica (12,5 cm x 14 cm).

Trabalho de Conclusão de curso (graduação em Engenharia Agrônômica) -Instituto Federal de Alagoas, *Campus Piranhas*, Piranhas, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Samuel Silva.

1.Umidade do solo. 2. Área foliar. 3. Produtividade - Milho. I. Título.

CDD:633.15

Fabio Fernandes Silva
Bibliotecário – CRB- 4/2302

AMANDA CIBELE DA PAZ SOUSA

**EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS DO
MILHO, NO SEMIÁRIDO ALAGOANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior em Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas, Campus Piranhas como requisito para a obtenção do título Engenheira Agrônoma.

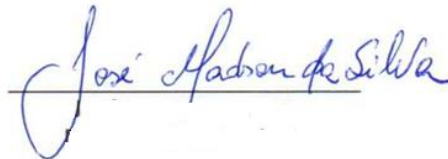
Aprovado em 8 de outubro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br SAMUEL SILVA
Data: 11/10/2021 20:38:50-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Samuel Silva (Orientador)

Instituto Federal de Alagoas – IFAL -Campus Piranhas



Dr. José Madson da Silva

Instituto Federal de Alagoas – IFAL - Campus Piranhas

Documento assinado digitalmente
gov.br Iêdo Teodoro
Data: 08/10/2021 19:26:24-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Iêdo Teodoro

Centro de Engenharia e Ciências Agrárias - CECA (UFAL)

Dedico este trabalho a toda minha família e amigos que contribuíram para a realização dessa etapa.

AGRADECIMENTOS

Ao IFAL - Campus Piranhas pela oportunidade de realização de mais esta etapa em minha formação acadêmica.

Ao meu orientador, professor Dr. Samuel Silva, pelos conhecimentos transmitidos, pela amizade, respeito, confiança, dedicação, estímulo nos estudos e por ceder o espaço no laboratório de Irrigação e Agrometeorologia do IFAL- Campus Piranhas;

Aos professores doutores José Madson da Silva e Iêdo Teodoro por terem aceitado o convite para fazer parte da banca examinadora e pelas instruções e sugestões neste trabalho;

Aos colegas de laboratório: Jonatas Emanuel Souza, Edmaíris Rodrigues Araújo e Carla Sabrina da Silva pela convivência e ajuda em muitos momentos;

Aos colegas de classe: Cássio Laurentino Veloso, Ranniele Luíza Ventura da Silva, Raquel Soares da Silva, Jailson de Oliveira, Denisson Lima do Nascimento, Dalbert de Freitas Pereira, Magna dos Santos Pereira, Ialy Aparecida Ângelo de Moura e todos os demais importantíssimos que eu não tenha citado aqui, pela amizade e inestimável contribuição na condução do experimento, companheirismo e momentos compartilhados;

Ao corpo docente do curso de graduação em Engenharia Agrônômica do IFAL - Campus Piranhas, pela contribuição na minha formação profissional;

A todos os que acreditaram em mim e me ajudaram, de forma direta e indireta, a concluir este trabalho, especialmente aos meus melhores amigos Cássio Laurentino Veloso, Ranniele Luíza Ventura da Silva e Raquel Soares da Silva.

Meus sinceros agradecimentos!

“Deixe as suas esperanças, e não as suas dores moldarem o seu futuro.”

Robert H. Schiller

RESUMO

O déficit de água no solo promove respostas fisiológicas na planta capazes de alterar significativamente o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento da cultura, em que é essencial estudar o comportamento da planta frente ao estresse hídrico para determinar o manejo adequado da irrigação. Este projeto teve como objetivo avaliar o efeito do déficit hídrico em diferentes fases fenológicas do milho na região Semiárida. O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Alagoas/Campus Piranhas, durante os meses de fevereiro a junho de 2019, o delineamento experimental utilizado no experimento foi faixas com quatro repetições, em que os tratamentos foram cinco períodos de submissão da cultura ao estresse por déficit hídrico, o qual ocorreu a partir das seguintes fases: pendoamento, polinização, grão leitoso, grão pastoso e grão farináceo (sem estresse). A partir dos dados coletados durante a condução do experimento, foram realizadas as seguintes etapas: estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc), análise do efeito dos elementos climáticos sobre a cultura, avaliação de crescimento das plantas, determinação da produtividade e análise de variáveis da espiga sob o efeito do déficit hídrico, e verificação do nível de impacto do estresse hídrico provocado em cada fase fonológica da cultura. As plantas submetidas ao déficit hídrico nas fases de pendoamento e floração sofreram variação, índice de área foliar (IAF), número de grão por espiga, peso seco de mil grãos e baixo rendimento da produtividade quando comparadas às plantas submetidas na fase de grão farináceo. A radiação, temperatura e umidade não influenciaram na limitação térmica para o desenvolvimento do milho durante todo o ciclo. Plantas submetidas ao déficit hídrico na fase de pendoamento e floração foram menos produtivas, quando comparadas as plantas cultivadas sob irrigação plena.

Palavras-chave: Umidade do solo. Área foliar. Produtividade.

ABSTRACT

The deficit of water in the soil promotes physiological responses in the plant capable of altering the growth, development and yield of the crop, in which it is essential to study the behavior of the plant against water stress to determine the proper management of irrigation. This project aimed to evaluate the effect of water deficit on different phenological stages of corn in the semiarid region. The experiment was conducted at the Federal Institute of Alagoas/Campus Piranhas, from February to June 2019, the experimental design used in the experiment was strips with four replications, in which the treatments were five periods of submission of the crop to deficit stress water, which occurred from the following phases: tanning, pollination, milky grain, pasty grain and farinaceous grain (without stress). From the data collected during the experiment, the following steps were followed: estimation crop evapotranspiration (ETc), analysis of the effect of climatic elements on the crop, evaluation of plant growth, determination of productivity and evaluation of ear variables under the effect of water deficit, and verification of the level of impact of water stress caused in each phenological phase of the crop. Plants subjected to water deficit in the tasseling and flowering phases suffered variation, leaf area index (LAI), number of grains per spike, dry weight of a thousand grains and low yield when compared with plants subjected to the farinaceous grain phase. Radiation, air temperature and humidity do not dissipate in the thermal limitation for corn development throughout the cycle. Plants subjected to water deficit in the tasseling and flowering phase were less productive when compared to plants grown under full irrigation.

Keywords: Soil moisture. Leaf area. Productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Stand de plantas de milho submetido ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas durante os meses de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.	21
Figura 2. Croqui utilizado para a condução do experimento no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.	22
Figura 3. Preparo do solo (A) e sulcamento (B) durante a condução do experimento no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.	22
Figura 4. Lagarta <i>Spodoptera frugiperda</i> (A), aplicação de inseticida (B) e controle manual de ervas espontânea (C) durante o cultivo de milho submetido ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas-AL.	24
Figura 5. Distribuição das linhas (A), fita gotejadora distribuídas na área do experimento (B), tensímetro digital utilizado para verificar a tensão (D) e adição de água na haste do tensímetro (C) utilizados durante a condução do experimento no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.	27
Figura 6. Avaliação do diâmetro das espigas (A), peso de mil grãos para avaliação da produtividade (B) e diferença no tamanho da espiga nas diferentes fases na cultura do milho sob déficit hídrico (C) no período de fevereiro a junho de 2019, em Piranhas - AL.	28
Figura 7. Valores diários R_n e R_g de fevereiro a junho de 2019 durante o ciclo do milho cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas em Piranhas - AL.	30
Figura 8. Valores médios diários de temperatura e umidade do ar de fevereiro a junho de 2019 durante o ciclo da cultura do milho cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas em Piranhas - AL.	31
Figura 9. Valores diários de graus-dia (GD) e graus-dia acumulados (GDA) durante cultivo de milho sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.	32
Figura 10. Valores diários de chuva e ET_c de fevereiro a junho de 2019 durante o cultivo de milho submetido ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas em Piranhas - AL.	34
Figura 11. Balanço hídrico do solo para cultivo de milho em regime de sequeiro no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.	35

Figura 12. Tensão de água no solo durante cultivo de milho submetido a déficit hídrico em diferentes fases fenológicas do período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.	36
Figura 13. Variáveis biométricas (com erro padrão da média) do milho cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas durante o período de fevereiro a junho de 2019 na região de Piranhas - AL.....	37
Figura 14. Produtividade de grãos (A) e comparação entre as espigas nos tratamentos (B) de milho cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas durante o período de fevereiro a junho de 2019, em Piranhas - AL.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estádios de desenvolvimento da cultura do milho estabelecido por FANCELLI & DOURADO NETO (2004) e MAGALHÃES et al. (2006).	16
Tabela 2. Atributos físicos do solo da área experimental em Piranhas - AL, 2019.....	23
Tabela 3. Atributos químicos do solo da área experimental em Piranhas - AL, 2019.....	23
Tabela 4. Valores de Kc tabelado e ajustado para o milho irrigado por gotejamento na região de Piranhas - AL, durante fevereiro a junho de 2019.	26
Tabela 5. Duração (dias) e graus-dias acumulados - GDA (°C) entre os estádios do milho híbrido M274 cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas durante o período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.	33
Tabela 6. Valores dos parâmetros produtivos da cultura do milho, comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), número de grão por espiga (NGE), número de fileira por espiga (NFE) e peso de mil grãos (Peso), cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.	38
Tabela 7. Resumo da análise de variância pelo teste F para AD - altura do dossel (m), DC - diâmetro do colmo (cm) e IAF - índice da área foliar ao longo dos dias após o plantio (DAP) sob efeito do déficit hídrico em diferentes fases fenológicas do milho em Piranhas – AL.	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Cultura do milho - aspectos gerais.....	15
3.2 Crescimento e fenologia do milho	16
3.3 Déficit Hídrico	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Localização e características da área experimental	21
4.2 Implantação e Condução do experimento	21
4.3 Variáveis agrometeorologias	25
4.4 Balanço Hídrico	26
4.5 Irrigação.....	26
4.6 Crescimento da Cultura.....	27
4.7 Fenologia da Cultura.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Variáveis meteorológicas	30
5.2 Crescimento do milho	36
5.3 Variáveis de produção da cultura do milho	38
5.4 Produtividade Agrícola	39
6. CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42
APÊNDICE A - Balanço hídrico climatológico.....	49
APÊNDICE B - Resumo da análise de variância pelo teste F	52

1. INTRODUÇÃO

O Semiárido alagoano é uma região que apresenta baixa precipitação pluviométrica, com períodos prolongados de seca, que ocasiona baixos níveis de água no solo agricultável. E, essa condição prejudica o desenvolvimento de muitas espécies de plantas, principalmente as cultivadas, como o milho, e isso reflete diretamente na renda familiar dos agropecuaristas, uma vez que o milho é a principal cultura agrícola da região (SANTOS et al., 2020). O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais cultivados em todo o mundo e fornece vários produtos largamente utilizados para a alimentação humana e animal, além de ser utilizado pelas indústrias para a produção de matérias-primas devido à qualidade das substâncias acumuladas em seus grãos (ALVES et al., 2015).

A cultura do milho necessita em média de 400 a 600 mm de água durante todo o ciclo e a deficiência ou excesso de chuva, determinadas fases de desenvolvimento, podem ser limitantes e comprometedores para a produtividade final dessa cultura (MACHADO, 2016). As plantas de milho têm sensibilidade ao estresse hídrico provocado pela baixa disponibilidade de água no solo, principalmente no período crítico, que inicia no florescimento até enchimento dos grãos (HERNÁNDEZ et al., 2015). Conforme BRITO et al. (2013), a ocorrência de déficit hídrico durante o pendoamento e o enchimento dos grãos causa perdas na produtividade agrícola dos milharias porque nessa fase ocorre a síntese de componentes do rendimento. Além disso, o estresse hídrico provoca menor crescimento das plantas em função da produção de ácido abscísico (ABA), uma vez que esse é considerado um hormônio que retarda o crescimento vegetal e por isso aumenta em plantas estressadas por falta de água. Quando sinalizado pela raiz, o ABA promove redução na taxa de transpiração da planta pelo fechamento estomático, influenciando a taxa de absorção de nutrientes e, conseqüentemente, modifica a fisiologia e morfologia das plantas sob estresse hídrico (TAIZ & ZEIGER, 2013). A altura das plantas e o diâmetro do colmo podem sofrer redução devido ao estresse hídrico, devido à redução da fotossíntese que é provocada pelo decréscimo na expansão celular e pelos danos no aparato fotossintético (GUIMARÃES et al., 2019). Para reverter à falta de água no solo devido ao estresse hídrico é importante recorrer às técnicas agronômicas, como a irrigação. Essa tecnologia, quando utilizada corretamente, eleva consideravelmente a produtividade agrícola dos empreendimentos agropecuários e permite outras safras na estação seca. Porém, deve ser bem planejada para que não ocorra estresse por déficit ou excesso de água ao longo das fases fenológicas das plantas, que além de prejudicar a produtividade agrícola da cultura, quando aplicada em excesso, eleva os custos de produção.

No Estado de Alagoas, a produtividade agrícola do milho é prejudicada pela ocorrência de veranicos, que acontecem, em alguns anos, mesmo durante a estação chuvosa da região que inicia em abril e termina em setembro (CARVALHO et al., 2013). E isso limita o desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas (OLIVEIRA et al., 2010). Em Alagoas, 45,3% da área total corresponde à região Semiárida, onde ficam 37% dos municípios e aproximadamente 28,8% da população (MEDEIROS et al., 2009). Dessa forma, a irrigação torna-se importante para suprir a deficiência hídrica e favorecer o cultivo de outras safras na estação seca. Na região do sertão alagoano, onde as áreas irrigadas às margens do rio São Francisco e o andamento da construção do canal do sertão promove o cultivo do milho irrigado, há poucos estudos e falta de acesso dos produtores à assistência técnica necessária, que são os principais requisitos para o uso adequado dos recursos hídricos na agricultura irrigada, para fins de aumentar a produtividade e a eficiência no uso da água.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as variáveis meteorológicas e o efeito do déficit hídrico em diferentes fases fenológicas, sob o crescimento, desenvolvimento e produtividade agrícola da cultura do milho, no Semiárido alagoano.

2.2 Objetivos Específicos

- Medir e estimar variáveis meteorológicas na região de Piranhas - AL, no período de fevereiro a junho de 2019;
- Estimar a necessidade hídrica da cultura através da evapotranspiração;
- Fazer o balanço hídrico da cultura do milho na região de Piranhas - AL;
- Dimensionar o estresse hídrico da cultura do milho, através da tensão de água no solo;
- Monitorar e medir o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho;
- Determinar a produtividade agrícola do milho.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cultura do milho - aspectos gerais

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae cultivada em todo o mundo (SOUSA, 2020), originado da América, mais especificamente no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos (FANCELLI & DOURADO NETO, 2004). É uma granífera destinada tanto para consumo humano como animal, sendo umas das principais culturas do Brasil devido à significativa área cultivada e a destinação (SANTOS, 2002).

Possui vasta adaptabilidade, representada por variados genótipos, permitindo cultivo em climas tropicais, subtropicais e temperados, considerando que seu crescimento pode ser afetado conforme as características específicas de cada região (BARROS; CALADO, 2014). Segundo ASSIS et al., (2006) a temperatura basal inferior e superior são de 10°C e 45°C, respectivamente. Para OMETTO (1981), a temperatura basal mínima aciona os dispositivos metabólicos da planta e somente acima desta temperatura a planta pode se desenvolver, contudo, a planta também possui uma temperatura basal máxima na qual pode haver paralisação das atividades metabólicas, prejudicando seu desenvolvimento. Contudo, CARON et al., (2017) afirma que a faixa ideal para o crescimento e desenvolvimento está entre 24 e 30°C. CAIXETA FILHO & NUSSIO (2015) relatam que o aumento da disponibilidade de água no solo e umidade relativa do ar superior a 70% são requerimentos básicos durante a floração e enchimento dos grãos.

BERGAMASHI (2004) afirma que o milho é uma espécie que apresenta metabolismo fotossintético do tipo C4 e possui elevado potencial ocorrendo quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar e quando não há déficit hídrico. Essa condição favorece a máxima fotossíntese possível, elevando o fluxo energético incidente, havendo o aumento da necessidade hídrica da cultura, elevando também a evapotranspiração. Os pesquisadores DOORENBOS & KASSAN (1994) em seus estudos sobre queda de rendimento relativo em relação ao déficit relativo de evapotranspiração recomendam estudos regionalizados, testando os fatores de respostas de produção em função ao déficit hídrico, já que a produção de cada ciclo da cultura depende das características de cada local e da variedade utilizada.

Em relação as características edafoclimáticas, as principais épocas de semeadura variam de acordo com a cada região geográfica, em que a radiação solar, a precipitação pluvial e a temperatura exercem maior influência sobre a cultura e interferem diretamente nas

atividades fisiológicas da planta e conseqüentemente na produção de grãos e matéria seca (LANDAU et al., 2009).

3.2 Crescimento e fenologia do milho

O termo “crescimento” quando voltado para análise, refere-se a uma série de métodos quantitativos que descreve o desempenho da planta, sendo esta crescendo sob condições naturais ou controladas e o desenvolvimento é a mudança no estágio da planta para um estágio mais avançado (HUNT, 2003). A cultura do milho possui variedades extremamente precoces, em que a polinização pode acontecer 30 dias após a emergência e variedades com ciclo total de produção mais longo podendo alcançar 300 dias. No Brasil o ciclo de produção do milho varia entre 110 a 180 dias, devido principalmente as características genéticas das cultivares utilizadas e a diversidade das características edafoclimáticas (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

O ciclo do milho é dividido em dois grupos de estádios, FANCELLI & DOURADO NETO (2004) e MAGALHÃES et al. (2006) dividem o ciclo da cultura em estádios vegetativos e reprodutivo (Tabela 1).

Tabela 1. Estádios de desenvolvimento da cultura do milho estabelecido por FANCELLI & DOURADO NETO (2004) e MAGALHÃES et al. (2006).

VEGETATIVO	REPRODUTIVO
VE – Emergência;	R1 – Florescimento;
V1 – 1ª folha desenvolvida;	R2 – Grão leitoso;
V2 – 2ª folha desenvolvida;	R3 – Grão pastoso;
V3 – 3ª folha desenvolvida;	R4 – Grão farináceo;
VN – N-ésima folha desenvolvida;	R5 – Grão farináceo duro;
VT – Pendoamento	R6 – Maturidade fisiológica

Fonte: Autor, 2019.

Conforme ABENDROTH et al. (2011) e SILVA (2019) divide-se o ciclo fenológico do milho em:

- **VE (Emergência):** A emergência ocorre quando as primeiras folhas, os coleótilos, aparecem acima da superfície do solo, em condições de temperatura do solo acima de 10 – 12°C e umidade adequada favorecem rápida emergência que pode variar de cinco a sete dias.

- **V1 (Primeira folha):** Surge à primeira folha, visível no colar, estrutura localizada na base da folha com ponta arredondada. Os estádios vegetativos são definidos a partir desse estádio até o florescimento (R1).
- **V2 (Segunda folha):** Nesse estádio as raízes nodais começam a crescer abaixo do solo, e as raízes seminais começam a senescer.
- **V3 (Terceira folha):** A terceira folha encontra-se completamente desenvolvidas em aproximadamente duas semanas após o plantio. Nessa fase, o ponto de crescimento ainda se encontra abaixo da superfície do solo e a planta possui ainda pouco caule formado
- **V4 (Quarta folha):** Nesse estádio as raízes nodais dominam, ocupando maior volume de solo quando comparadas com as raízes seminais e as folhas continuam se desenvolvendo no meristema apical (ponto de crescimento da planta).
- **V6 (Sexta folha):** Estádio em que há seis folhas completamente desenvolvidas, tornado-se visível no colar. Nesta fase, todas as estruturas da planta já iniciaram seu crescimento, o ponto de crescimento já emergiu e encontra-se acima da superfície do solo. Entre os estádios V6 e V10, o potencial do número de fileiras por espiga é determinado. Fatores ambientais e o potencial genético podem causar redução no número de fileira quando submetido a condições de estresse ambiental.
- **V8 (Oitava folha):** Nesse estádio ocorre a queda das primeiras folhas e o número de fileiras de grãos é definido. Estresse hídrico causados nessa fase pode afetar o comprimento de internódios, possivelmente pela inibição da alongação das células em desenvolvimento, convergindo, desse modo, para a redução da capacidade de armazenagem de açúcares no colmo. O déficit hídrico pode também afetar o desenvolvimento do colmo, torna-o mais finos e reduzindo o porte da planta afetando a área foliar.
- **V10 (Décima folha):** Nesse estádio, raízes aéreas iniciam seu desenvolvimento nos nós da planta, acima da superfície do solo. Da emergência até esse estádio a taxa de desenvolvimento das folhas é de aproximadamente 2 a 3 dias por folha.
- **V12 (Décima segunda folha):** É definido nesse estádio o número de óvulos, grãos em potencial, em cada espiga, assim como o tamanho da espiga, no entanto, a determinação do número de grãos por fileira só será definido cerca de uma semana antes do florescimento, em torno do estádio V17. Neste estádio ocorre também a perda de duas a quatro folhas basais, sendo considerado o mais crítico, pois é nessa fase que se inicia produção, o qual se estende até a polinização, deficiência de umidade ou nutrientes pode reduzir drasticamente o número possível de sementes, assim como o tamanho das espigas.

- **V14 (Décima quarta folha):** Nesse estágio ocorre rápido crescimento, aproximadamente duas semanas antes do florescimento. O milho é extremamente sensível ao estresse por altas temperaturas e falta de água. Mais 4 ou 6 folhas devem se expandir a partir desse estágio até VT, podendo ocorrer o aparecimento de espigas anormais entre esse estágio e o florescimento.
- **VT (Pendoamento):** O potencial de grãos por fileira na espiga é definido e, conseqüentemente, o potencial do número final de grãos. O último ramo do pendão estará visível no topo da planta, podendo ou não aparecer o estilo-estigma (“cabelos”). A planta apresenta-se próxima à sua altura máxima, a demanda por água é de 7,5 mm por dia, próxima do seu máximo e estresse por excesso ou restrição hídrica pode afetar o potencial do número de grãos podendo causar a perda de folhas, e afetar severamente a produção final.
- **R1 (Embonecamento e Polinização):** Inicia-se quando os “cabelos” do milho se projetam para fora da palha, os primeiros que emergem são responsáveis pela polinização dos grãos da base da espiga, mantendo-se ativos até a polinização. O Embrião é produzido quando o pólen vai do pendão até o “cabelo” do milho, fertilizando o óvulo. Nessa fase é determinado o potencial do número dos grãos e a altura máxima da planta é atingida. A demanda por água é de 8 mm por dia, altas temperaturas e baixa umidade podem afetar a polinização e o número final de grãos.
- **R2 (Grão Bolha D’água):** Nesse estágio o “cabelo” do milho escurece e começa secar com duração de aproximadamente 12 dias após R1. É chamado de grão bolha d’água devido à semelhança a uma bolha com coloração branca e fluido transparente em seu interior. O grão apresenta 85% de umidade havendo embriões se desenvolvem em cada grão. A divisão celular completa-se, iniciando-se o enchimento de grão. Estresses nessa fase podem reduzir o potencial de produção através da redução do número final de grãos (abortamento).
- **R3 (Grão Leiteiro):** Ocorre o secamento do “cabelo” do milho aproximadamente aos 20 dias após R1, o grão apresenta-se amarelado e um fluido semelhante ao leite pode ser extraído quando esmagado com os dedos, resultado do processo de acúmulo de amido dentro do grão. Estresses ainda podem causar abortamento.
- **R4 (Grão Pastoso):** Nesta fase, ocorre um rápido acúmulo de nutrientes e amido, o grão possui 70% de umidade e começa a se apresentar dentado no topo. Material extraído do grão apresenta uma consistência pastosa (aproximadamente 26 a 30 dias após R1). Estresses podem causar má formação ou gerar grãos chochos e espigas sem valor.
- **R5 (Formação de Dente):** A maior parte dos grãos estão dentados, a umidade do grão cai para 55% (38 a 42 dias após R1) e o conteúdo de amido aumenta. Estresses nessa fase podem

reduzir a massa do grão. A colheita para silagem pode ser realizada quando 50% de grãos leitosos estiverem formados.

- **R6 (Maturidade Fisiológica):** Surge a camada preta na base do grão, bloqueando o movimento de nutriente da planta para os grãos (50 a 60 dias após R1). O grão atinge a sua maior massa seca (30 a 35% de umidade) sendo considerado maduro fisiologicamente, porém o grão não está pronto para um armazenamento seguro. A colheita pode ser iniciada, porém para um longo período de armazenamento é recomendado umidade de 14,5%, ficando atento para as pragas como a Broca Européia do milho (*Ostrinia nubilalis*), praga que pode causar queda de espiga.

3.3 Déficit Hídrico

O déficit hídrico causado durante o cultivo de plantas prejudica o crescimento e o desenvolvimento das culturas em qualquer ambiente, seja ele protegido ou não (SANTOS; CARLESSO, 1998). Ocupa posição de destaque dentre os vários fatores limitantes da produção vegetal, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo, é um fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis (NOGUEIRA et al., 2001), tornando-se um dos grandes problemas da agricultura mundial, sendo de fundamental importância o desenvolvimento de técnicas que habilite a planta em resistir a esse tipo de estresse e conseqüentemente ocorra a expansão do agronegócio (SHAO et al., 2008).

A redução do teor de água na planta, a diminuição do potencial hídrico foliar e a perda de turgor, fechamento dos estômatos e diminuição do crescimento celular constituem respostas de uma planta submetida ao estresse hídrico (JALEEL et al., 2009). Na cultura do milho, a restrição hídrica afeta a produtividade de forma acentuada, havendo diminuição na produção de grãos (VIEIRA JÚNIOR, 2007). A falta de água pode acarretar injúrias e redução da produtividade das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013), o que torna necessário conhecer a quantidade de água a ser fornecida durante o cultivo para que não haja desperdício de água e torne-se um manejo consciente, no qual as plantas se desenvolvam de forma satisfatória com qualidade na produção e com custos na irrigação reduzidos (COÊLHO et al., 2014). À medida que se desenvolvem estratégias de irrigação, torna-se importante conhecer o efeito da deficiência hídrica nos estádios de desenvolvimento das plantas (ALMEIDA, 2017), BÄNZINGER et al. (2000), relatam que em condições de déficit hídrico, a produtividade de grãos é consideravelmente afetada, sendo os estádios de florescimento e enchimento de grãos as fases mais críticas da cultura. Desta forma, ressalta-se que a água é um dos recursos cada

vez mais limitante ao desenvolvimento e produção vegetal, tornado-se necessário que haja técnicas que permitam aumentar a produtividade das culturas a cada unidade de volume de água aplicada (SANTOS, 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e características da área experimental

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Alagoas/Campus Piranhas (-09°37'12"S; -37°46'12"W; 187m), durante os meses de fevereiro a junho de 2019. A classificação climática da região pelo método de Köppen (LIMA, 1977) é do tipo BSh, clima muito quente, Semiárido, tipo estepe. A época chuvosa inicia em março e vai até julho. A precipitação pluvial média anual da região é de 492,2 mm (SANTOS et al., 2017).

Figura 1. Stand de plantas de milho submetido ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas durante os meses de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.



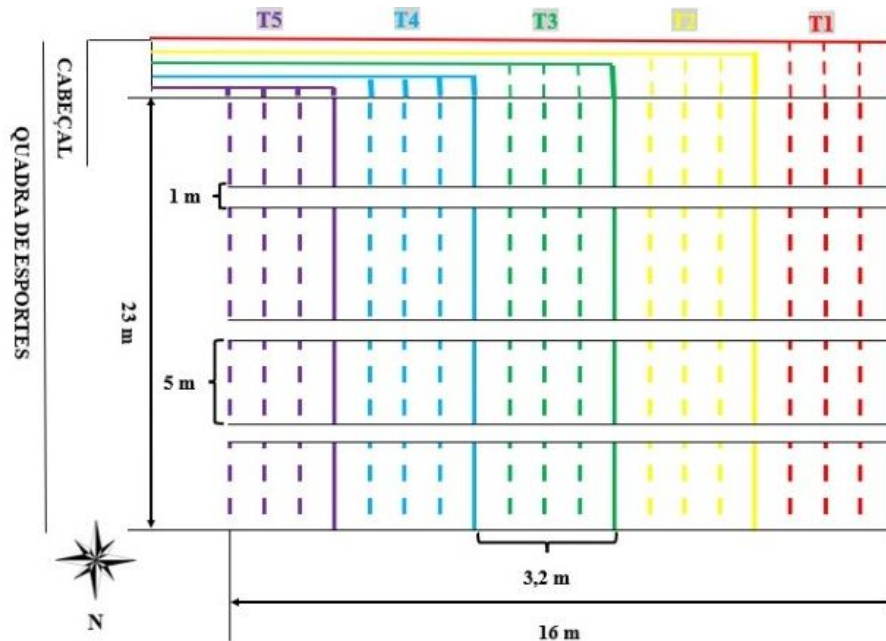
Fonte: Autor, 2019.

4.2 Implantação e Condução do experimento

a) Delineamento estatístico

O delineamento estatístico utilizado foi faixas com quatro repetições. Os tratamentos foram cinco períodos de submissão da cultura ao estresse por déficit hídrico, a partir das fases: pendoamento, polinização, grão leitoso, grão pastoso e grão farináceo (sem estresse). As parcelas foram compostas por 4 fileiras de 5,0 m de comprimento espaçadas a 0,80 m, resultando numa área total de 16 m², com a área útil representada pelos 3 m centrais das duas linhas do meio (Figura 2).

Figura 2. Croqui utilizado para a condução do experimento no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.



Fonte: Autor, 2019.

b) Plantio e tratos culturais

O plantio foi feito com a cultivar híbrida do milho M274, semeado em sulcos abertos manualmente (Figura 3B), colocando-se duas sementes a cada 0,20 m, e o desbaste de plantas foi realizado quando as plantas estavam no estágio (V4), resultando em 62.500 plantas por hectare.

Figura 3. Preparo do solo (A) e sulcamento (B) durante a condução do experimento no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.



Fonte: Autor, 2019.

A análise física e química do solo foi realizada após o preparo do solo via gradagem (Figura 3A). Na área experimental, previamente à montagem do experimento, foram coletadas 20 amostras simples de solo nas camadas de 0-20 cm de profundidade, sendo obtida amostra composta. As amostras foram devidamente acondicionadas e enviadas aos Laboratórios de Fertilidade e Física do solo do Campus para análise dos atributos físicos (Tabela 2) e químicos (Tabela 3).

Tabela 2. Atributos físicos do solo da área experimental em Piranhas - AL, 2019.

Camadas	Atributos			
	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	Textura
0-20 cm	812	3	185	F.Aren. ¹
	CC(%)	PMP (%)	Densidade (g cm ⁻³)	
0-20 cm	22,0	6,7	1,21	

¹Franco Arenoso

Fonte: Dados obtidos antes da instalação do experimento, 2019.

Tabela 3. Atributos químicos do solo da área experimental em Piranhas - AL, 2019.

Amostra	pH _{H2O}	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	Al ³⁺	S	T	V	M.O.	P	K
cm	1:2,5	----- cmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----		mg/L				
0-20	6,9	0,1	9,3	2,5	5,4	3,3	0,0	17,3	20,6	84,0	-	39	2113,1

H+Al - Acidez Potencial, S - Soma de Base, T- Capacidade de Troca Catiônica, M. O. - Matéria Orgânica, V – Saturação por Bases e Na, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H+Al, Al³⁺ extraídos por Mehlich⁻¹

Fonte: Dados obtidos durante a avaliação do experimento, 2019.

A adubação de fundação foi feita em função da produtividade esperada de 10 t ha⁻¹ e considerando o resultado da análise química do solo, de acordo com COELHO (2007). Para isso, se aplicou 96,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples), mais metade de 182,4 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e 20 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônio). A segunda metade de K₂O mais 180 kg de N foram aplicados em cobertura aos 15 dias após o plantio (DAP).

A capacidade de campo (CC) foi determinada pelo método que se baseia na saturação de amostras de solos na qual é verificada a quantidade de água retida no solo. Para a determinação desse método foi utilizado proveta graduada e funil, foram realizadas três amostra cada uma contendo 100 g de solo saturados por 100 ml de água, deixando a drenagem de água ocorrer por 24 horas, após a drenagem foi realizado a pesagem do solo úmido. A CC foi determinada pela equação 1 (PRADO & CASALI, 2006):

$$CC = (\text{água retirada no solo} * 100\%) / (\text{Volume do solo}) \quad (1)$$

Em que: CC é a capacidade de campo do solo, em % de volume de solo utilizado, Água retida no solo é o volume de 100 mL - volume de água coletado na proveta (mL) e o Volume de solo no funil é 100 mL.

O ponto de murcha permanente (PMP) foi determinado com base na pesagem de argila pela equação de KLEIN et al. (2010), na qual foi estimada pela utilização de um psicrômetro. (Equação 2).

$$PMP = 0,0003 * Argila(g.Kg^{-1}) + 0,0118 \quad (2)$$

c) Controle de Pragas

O controle de pragas e doenças foi feito através do Manejo Integrado de Pragas e Doenças (MIPD) (Figura 4A). Foi utilizando inseticida químico à base de metomil na dose de 0,5 L ha⁻¹ nas fases inicial (V2) e crescimento (V9 e V15) com 8,26 e 40 DAP, respectivamente (Figura 4B), para o controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). O controle de ervas espontâneas foi realizado através de capinas manuais (Figura 4C).

Figura 4. Lagarta *Spodoptera frugiperda* (A), aplicação de inseticida (B) e controle manual de ervas espontânea (C) durante o cultivo de milho submetido ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas-AL.



Fonte: Autor, 2019.

4.3 Variáveis agrometeorológicas

As variáveis meteorológicas utilizadas foram umidade relativa e temperatura do ar, precipitação pluvial, evapotranspiração de referência e radiação solar as quais foram obtidas por uma estação automática de aquisição de dados do INMET, localizada próximo à área experimental.

a) Evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) para estimar a ET_c (Equação 3).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\gamma \frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + \left[\gamma (1 + 0,34 u_2) \right]} \quad (3)$$

Em que: Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor d'água saturado versus temperatura do ar (kPa °C⁻¹); R_n é o Saldo de radiação estimado (MJ m⁻² dia⁻¹); G é o fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ é o Coeficiente psicrométrico; T é a temperatura média do ar; u₂ é a velocidade média do vento a 2m de altura (m s⁻¹); e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e e é a pressão do vapor d'água do ar (kPa).

b) Evapotranspiração da cultura (ET_c)

Nas estimativas de evapotranspiração da cultura (ET_c), o desenvolvimento da planta foi dividido em quatro estádios (inicial, crescimento, intermediário e final), onde consta no boletim FAO-56 (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (ALLEN et al., 1998) os comprimentos médios desses estádios e os procedimentos detalhados para o cálculo de ET_c pelo K_c (Tabela 4). Os valores de K_c foram ajustados, sendo que o inicial foi calculado pelo método do gráfico, usando a ET_o e a frequência de irrigação por gotejamento, o intermediário e o final foram ajustados pelo método da equação (Equação 4), usando a umidade relativa, a velocidade do vento e a altura da planta (ALLEN et al., 1998).

$$K_c = K_c(\text{padrão}) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (4)$$

Em que: K_c é o K_c - médio ou K_c - final; K_c (padrão) é o valor tabelado para a fase; u_2 é o valor médio da velocidade do vento diário a 2 m da superfície, durante cada fase 3; UR_{\min} é o valor médio da umidade relativa mínima diária durante cada fase e h = altura média da planta durante as fases específicas.

Tabela 4. Valores de K_c tabelado e ajustado para o milho irrigado por gotejamento na região de Piranhas - AL, durante fevereiro a junho de 2019.

Fases	Duração (Dias)	K_c Tabelado	K_c Ajustado
Inicial	18	0,4	0,65
Crescimento	14	Interpolado	Interpolado
Intermediária	18	1,2	1,12
Final	45	0,6	0,53

Fonte: Dados obtidos durante a avaliação do experimento, 2019.

c) Necessidade Térmica da Cultura

Foi determinado o acúmulo térmico para a planta atingir as fases de desenvolvimento, através dos graus dia acumulados (GDA), de acordo com GILMORE & ROGERS (1958) (Equação 5).

$$GD = \sum_{i=1}^n (\bar{T}_i - T_b) \quad (5)$$

Em que: \bar{T}_i é a temperatura média do ar no dia i (°C) e T_b é a temperatura basal do milho, igual a 10 °C.

4.4 Balanço Hídrico

O balanço hídrico, pra efeito de avaliação hídrica da região, foi feito pelo método de THORNTWAITE & MATHER (1955). Para sua elaboração, foi necessária a utilização do armazenamento máximo de água no solo (CAD - Capacidade de Água Disponível), a medida da chuva total e a estimativa da ETr durante todo ciclo de cultivo. Os detalhes dessa metodologia encontram-se no apêndice A.

4.5 Irrigação

Utilizou-se sistema de irrigação localizada por gotejamento, com vazão nominal de 7,5 L h⁻¹m⁻¹, pressão nominal de 10 mca, e espaçamento entre gotejadores de 40 cm

(Figura 5A e 5B). O manejo da irrigação foi realizado com turno de rega diário durante toda a fase inicial até a fase de crescimento da cultura (0-50 DAP), em que, após isso, seguiu-se com a suspensão da irrigação mediante os tratamentos. O monitoramento foi realizado com uso de tensímetro digital (Figura 6C), verificados sempre antes e depois da irrigação (Figura 6D).

Figura 5. Distribuição das linhas (A), fita gotejadora distribuídas na área do experimento (B), tensímetro digital utilizado para verificar a tensão (D) e adição de água na haste do tensímetro (C) utilizados durante a condução do experimento no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.



Fonte: Autor, 2019.

4.6 Crescimento da Cultura

A biometria foi realizada quinzenalmente a partir dos 20 DAP, em que foi medida a altura do dossel, o diâmetro do colmo e o índice de área foliar (IAF). As variáveis analisadas foram feitas em quatro plantas aleatórias por parcela, marcadas durante todo o experimento.

a) Índice de área Foliar

O IAF foi calculado pela Equação 6:

$$IAF = \frac{AF \times NP}{\epsilon \times H} \quad (6)$$

Em que:

AF: é a área foliar (m²)

Np: é o número de plantas na linha de contagem

ε: é o espaçamento médio entre linhas (m)

H: é o comprimento da linha de contagem das plantas (m)

A área foliar foi determinada conforme a metodologia de HERMANN & CÂMARA (1999) (Equação 7).

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (N+2) \quad (7)$$

Em que: C é o comprimento da “folha +3” (m); L a largura da “folha +3” (m); 0,75 é o fator de correção de forma das folhas de milho e N o número de folhas fotossinteticamente ativas.

b) Altura do dossel vegetativo e diâmetro do colmo

Para mensuração do comprimento da parte aérea, considerada do colmo até o ápice, foi utilizada fita métrica com precisão de 0,1 cm e para o diâmetro do colmo foi utilizado paquímetro digital com precisão milimétrica de 0,01 mm.

c) Variáveis de Produção

Na fase de maturação fisiológica (R6) foi realizada a coleta de espigas para medir: comprimento e diâmetro da espiga, número de linhas de grãos, número de grãos por linha, peso de mil grãos, peso total de grãos da área útil. Após a pesagem dos grãos, os mesmos foram colocados em estufa de secagem a 65 °C durante 48 horas para determinação do teor de umidade e da produtividade em cada tratamento.

Figura 6. Avaliação do diâmetro das espigas (A), peso de mil grãos para avaliação da produtividade (B) e diferença no tamanho da espiga nas diferentes fases na cultura do milho sob déficit hídrico (C) no período de fevereiro a junho de 2019, em Piranhas - AL.



Os dados da avaliação biométrica em cada data de coleta e produtividade de grãos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e teste de Tukey para verificar o grau de diferença estatística entre os tratamentos.

4.7 Fenologia da Cultura

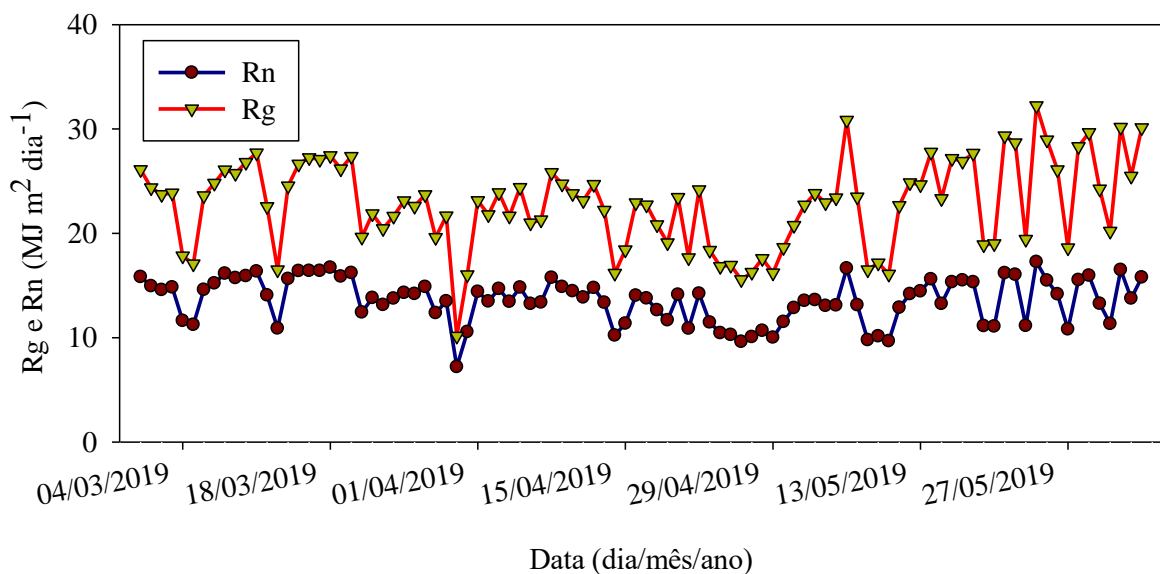
As fases fenológicas da cultura do milho foram baseadas na divisão dos dois grupos de estádios, o vegetativo (V) e o reprodutivo (R) segundo FANCELLI & DOURADO NETO (2004) e MAGALHÃES et al. (2006) (Tabela 1).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variáveis meteorológicas

A radiação global (Rg) mínima, máxima e média foram $10 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (30/03/2019), $32 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (24/05/2019) e $22,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Figura 7). Observa-se que durante os meses de março a abril houve dias com baixos valores de Rg em função da ocorrência de chuvas, uma vez que a nebulosidade causa interferência na irradiância até a superfície. O saldo de radiação (Rn) mínimo, máximo e médio foram $7,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (30/03/2019), $17,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (24/05/2019) e $13,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. A radiação solar é uma energia que influencia na ocorrência de perdas de água, nos processos de evapotranspiração e aquecimento do ar do solo e das plantas (CRUZ et al., 2006).

Figura 7. Valores diários Rn e Rg de fevereiro a junho de 2019 durante o ciclo do milho cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas em Piranhas - AL.



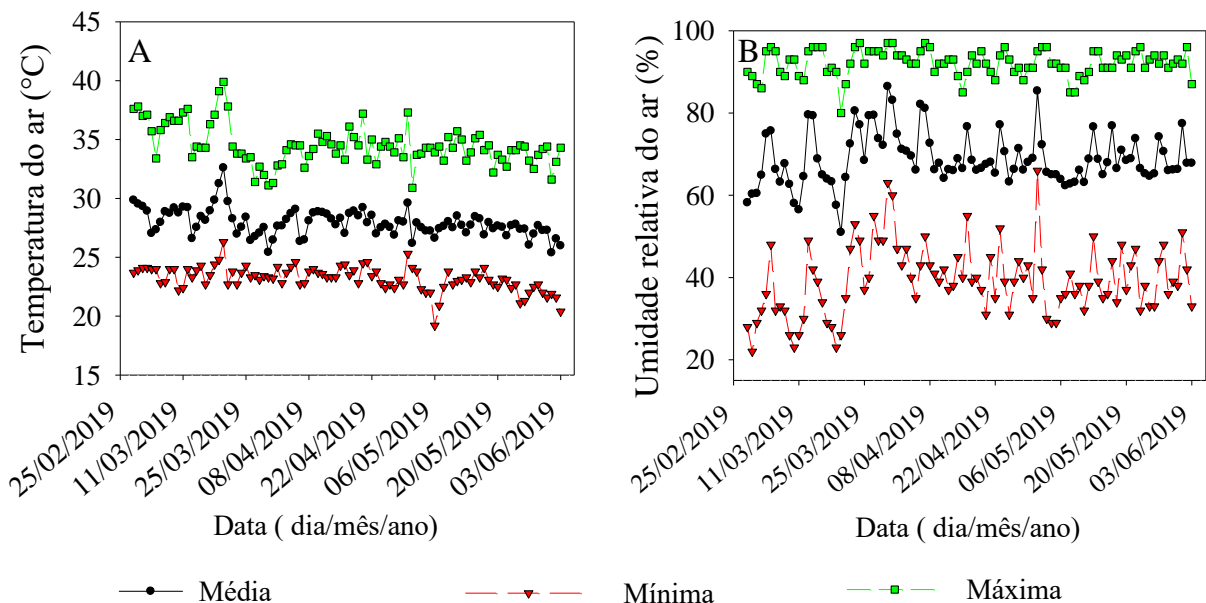
Fonte: Dados processados e obtidos na estação do INMET localizada no IFAL/Piranhas, 2019.

A radiação solar atua diretamente sobre o desenvolvimento e o crescimento das plantas, e indiretamente pelos efeitos no regime térmico de qualquer sistema terrestre (SANTOS et al. 2018), sendo a luz um fator imprescindível para o desenvolvimento da cultura do milho, pois é uma planta que necessita de luminosidade para expressar sua alta eficiência de conversão de energia radiante em energia química (SILVA, 2019). A radiação solar aproveitada pela cultura do milho reflete diretamente na produtividade agrícola, por ser uma gramínea tropical C4 e apresentar alta produtividade quando cultivada em ambientes favoráveis devido ao seu alto potencial da atividade fotossintética. SILVA et al. (2016),

trabalhando com a cultura do milho na região Sudeste do Brasil, Sete Lagoas-MG, mediram radiação global mínima, máxima e média de 4,47, 32,26 e 17,58 MJ m⁻², respectivamente, com rendimento de grãos igual a 7.209 kg ha⁻¹, relatando que os valores obtidos foi devido a alternância de dias com alta e baixa nebulosidade.

Na Figura 8 são observadas as variações da umidade relativa (UR%) e da temperatura do ar (°C) durante o ciclo da cultura. A umidade relativa do ar mínima, máxima e média foram 22 (01/03/2019), 97 (18/05/2019) e 69%, enquanto a temperatura do ar mínima, máxima e média foram 20 (28/03/2019), 34 (18/05/2019) e 28°C. Observa-se queda na temperatura do ar e aumento na UR% nos dias chuvosos. No entanto, não ocasionou restrição térmica para o desenvolvimento do milho, cuja faixa ideal ao seu crescimento e desenvolvimento está entre 24 e 30°C (CARON et al., 2017).

Figura 8. Valores médios diários de temperatura e umidade do ar de fevereiro a junho de 2019 durante o ciclo da cultura do milho cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas em Piranhas - AL.



Fonte: Dados processados e obtidos na estação do INMET localizada no IFAL/Piranhas, 2019.

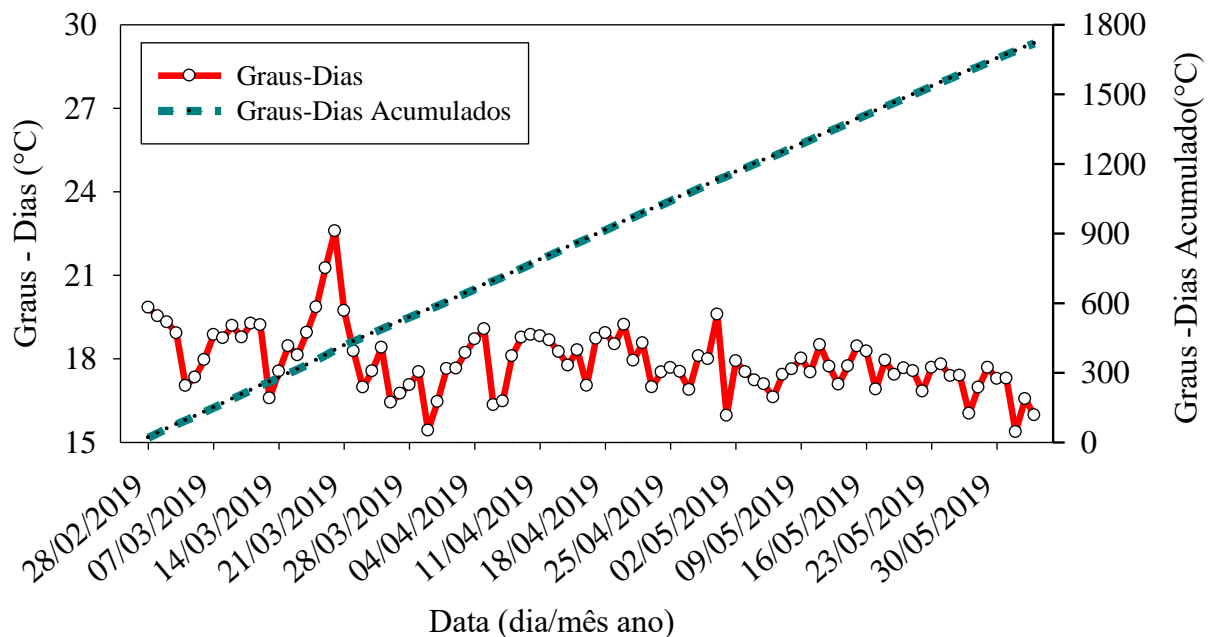
A temperatura do ar regula o desenvolvimento da cultura do milho, podendo acelerar, devido à ocorrência de temperaturas elevadas, ou retardar, sob efeito de temperaturas mais baixas (MAGALHÃES, 2017). O aumento da temperatura do ar eleva a quantidade de vapor de água que a atmosfera pode armazenar, desse modo, com aumento da temperatura ocorre diminuição no potencial hídrico da atmosfera, aumentando o gradiente entre o potencial da folha e do ar podendo haver efeito expressivo sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2016). Percebe-se que a região em estudo não

apresentou extremos da temperatura do ar se equivalendo às temperaturas basais (inferior e superior) inferindo dizer que a cultura esteve em seu pleno desenvolvimento no que diz respeito à temperatura do ar, não sofrendo estresse térmico, pois temperaturas abaixo da basal inferior e acima da basal superior interferem negativamente na taxa de fotossíntese da planta. Dados similares foram obtidos por CORDEIRO (2019) em sua pesquisa sobre balanço de água no solo para o milho no Semiárido alagoano durante nove anos de estudo, confirma que a temperatura média foi de aproximadamente 27,19 °C em todas as épocas de plantio.

a) Necessidade térmica da cultura

Derivada da temperatura, a necessidade térmica da planta para atingir os estádios fenológicos e que é representada pelos graus-dia, variou de 15 a 23 °C durante o ciclo, com total de 1.720 °C (Figura 9).

Figura 9. Valores diários de graus-dia (GD) e graus-dia acumulados (GDA) durante cultivo de milho sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.



Fonte: Dados processados e obtidos na estação do INMET localizada no IFAL/Piranhas, 2019.

A disponibilidade energética para a cultura, desde o plantio até o florescimento, foi de 1059 °C (Tabela 5), comportando-se como tardia, conforme a classificação de FANCELLI & DOURADO NETO (2000) que divide em super precoces: 780 a 830 GDA; precoces: 831 a 890 GDA e tardias: 891 a 1.200 GDA. Essas informações são importantes para o planejamento de safra e para as tomadas de decisões em situações que requerem

previsibilidade orçamentária e escolha do material genético apropriado para cada região climática.

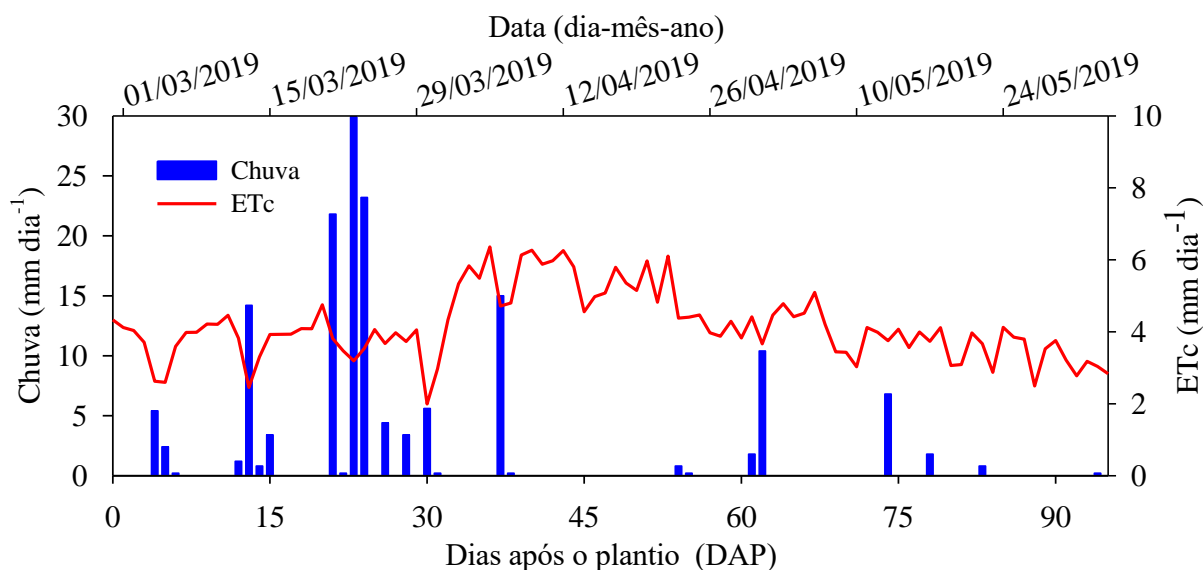
Tabela 5. Duração (dias) e graus-dias acumulados - GDA (°C) entre os estádios do milho híbrido M274 cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas durante o período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.

Fase fenológica	GDA/Duração (dias)
Plantio - Emergência (VE)	112/5
VE - Pendoamento (VT)	747/40
VT - Polinização (R1)	200/10
R1 - Grão Leitoso (R3)	194/10
R3 - Grão Pastoso (R4)	193/10
R4 - Grão Farináceo (R5)	194/10
R5 - Maturação fisiológica (R6)	86/10
Plantio - Maturação fisiológica	1.720/95

Fonte: Dados obtidos durante a avaliação do experimento, 2019.

A precipitação pluvial durante o ciclo de produção do milho, que durou de 28/02/2019 a 3/06/2019 (95 dias), somou 156 mm, sendo que 75% (118 mm) dessa chuva ocorreram durante o mês de março (04/03/2019 a 31/03/2019), caracterizando distribuição irregular da precipitação pluvial durante o período de cultivo (Figura 9). Este período do ano corresponde à estação chuvosa da região, mas essa disponibilidade hídrica é insuficiente para atender a demanda de água da cultura, que, conforme MACHADO (2016), para uma boa produção necessita de 400 a 600 mm de água durante o ciclo. Considera-se que a cultura do milho apresenta alta demanda por água, mas também é uma das mais eficientes no seu uso, isto é, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida (CAVALCANTE et al., 2018).

Figura 10. Valores diários de chuva e ETc de fevereiro a junho de 2019 durante o cultivo de milho submetido ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas em Piranhas - AL.



Fonte: Dados processados e obtidos na estação do INMET localizada no IFAL/Piranhas, 2019.

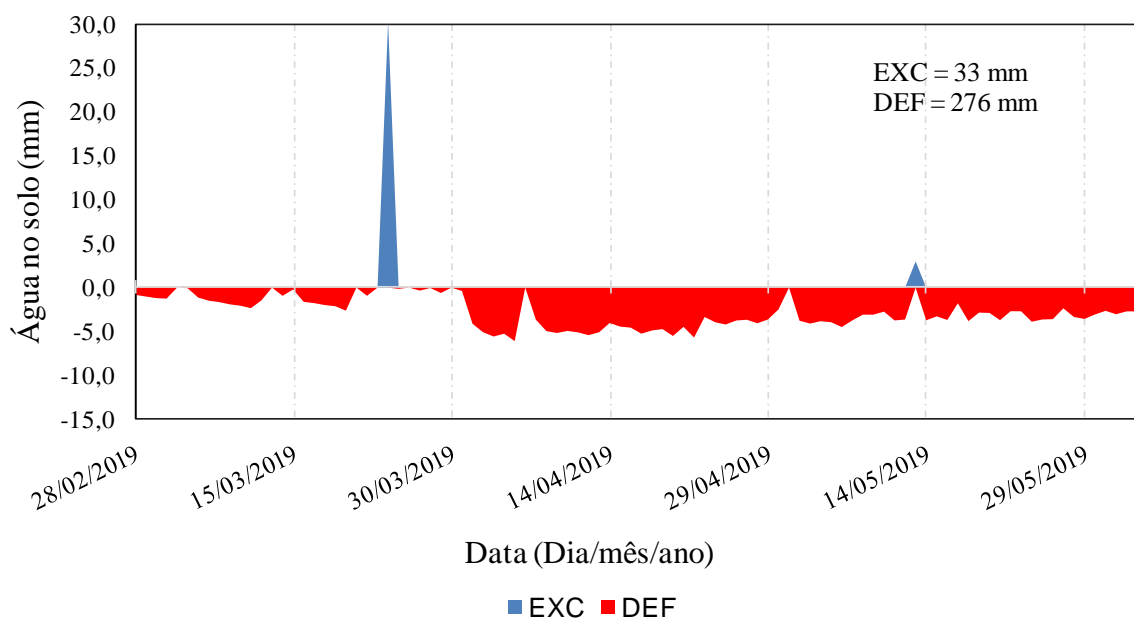
b) Evapotranspiração e balanço hídrico

A evapotranspiração da cultura (ETc) total no ciclo de cultivo foi 399 mm, com valores totais de 32,9; 212,4; 51,1; 48,6; 53,5; 56,1; 57,9 mm para as fases de desenvolvimento constantes na Tabela 5. Observam-se valores menores de ETc no período em que há ocorrência de chuvas, quando há alta nebulosidade e diminuição da intensidade da radiação solar, do aquecimento da atmosfera e conseqüentemente, da demanda hídrica atmosférica. Ao longo de todo o ciclo da cultura observou-se valores médio, mínimo e máximo da ETc de 4,2; 2 e 6,4 mm dia⁻¹, respectivamente (Figura 10). Resultado semelhante foi encontrado por SOARES (2019) trabalhando com milho irrigado e adubação nitrogenada em Rio Largo-AL, em que a ETc total foi 460,0 mm, com média de 4,0 mm dia⁻¹ e máxima diária de 6,3 mm. Já ANJOS (2016) trabalhando com milho irrigado em épocas diferentes, sendo a primeira época conduzida no período compreendido entre os meses de abril e agosto em Pão de açúcar, Semiárido alagoano, semelhante à época de cultivo da pesquisa em estudo, obteve resultado médio de evapotranspiração de referencia igual a 514,48 mm durante todo ciclo.

A deficiência hídrica no solo (DEF), contabilizada pelo balanço hídrico climatológico durante todo o ciclo de cultivo em regime de sequeiro, ou seja, dependente das chuvas, foi de 276 mm, com valores totais de 4; 93; 48; 34; 33; 32 e 31 mm para as respectivas fases de desenvolvimento do milho da Tabela 5. Observam-se valores menores de

DEF nos dias em que há ocorrência de chuvas (Figura 11). Considerando a data de suspensão da irrigação nos tratamentos até o estágio de maturação fisiológica (R6), a deficiência hídrica acumulada ao longo de todo o período de estresse foi de 183; 135; 101; 67 e 35 mm para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 respectivamente. O excesso hídrico durante todo o ciclo somou 33 mm. Nessas condições, se não houver irrigação, a cultura não consegue se desenvolver e produzir.

Figura 11. Balanço hídrico do solo para cultivo de milho em regime de sequeiro no período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.

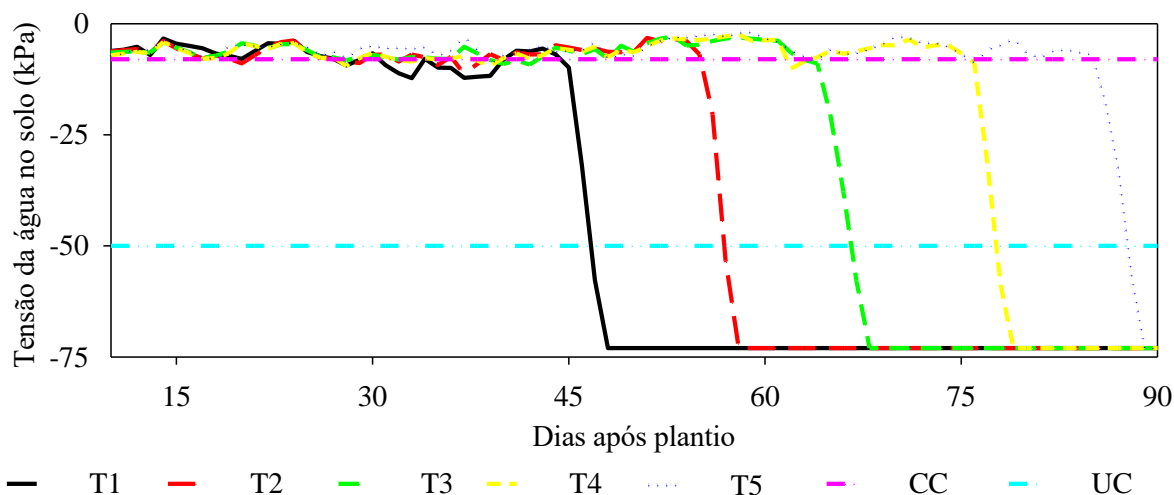


Fonte: Dados processados e obtidos na estação do INMET localizada no IFAL/Piranhas, 2019.

A irrigação aplicada no cultivo do plantio até o final da fase de crescimento da cultura (0-45 DAP), fez com que todos os tratamentos estivessem com a umidade próxima à capacidade de campo (CC), equivalente a $-8,0$ kPa (Figura 12). A partir do estágio de pendoamento, a tensão de água no solo em T1 esteve abaixo do ponto de umidade crítica (-50 kPa) pelo fato da suspensão da irrigação. Nos tratamentos T2, T3, T4 e T5 a tensão de água no solo permaneceu próxima à CC até aos 55, 65, 75 e 85 DAP, que corresponde, respectivamente, aos estádios de polinização, grão leitoso, grão pastoso e grão farináceo atingidos pela cultura. A partir desses períodos de suspensão da irrigação em todos os tratamentos (pendoamento ao grão farináceo), a tensão diminuiu drasticamente, ultrapassando o ponto de umidade crítica para a cultura. Isso refletiu negativamente nas variáveis de

crescimento e produtividade da cultura, exceto o T5, que teve a suspensão do fornecimento de água quando não havia mais efeito da umidade do solo no enchimento de grãos.

Figura 12. Tensão de água no solo durante cultivo de milho submetido a déficit hídrico em diferentes fases fenológicas do período de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.



Fonte: Dados obtidos durante a avaliação do experimento, 2019.

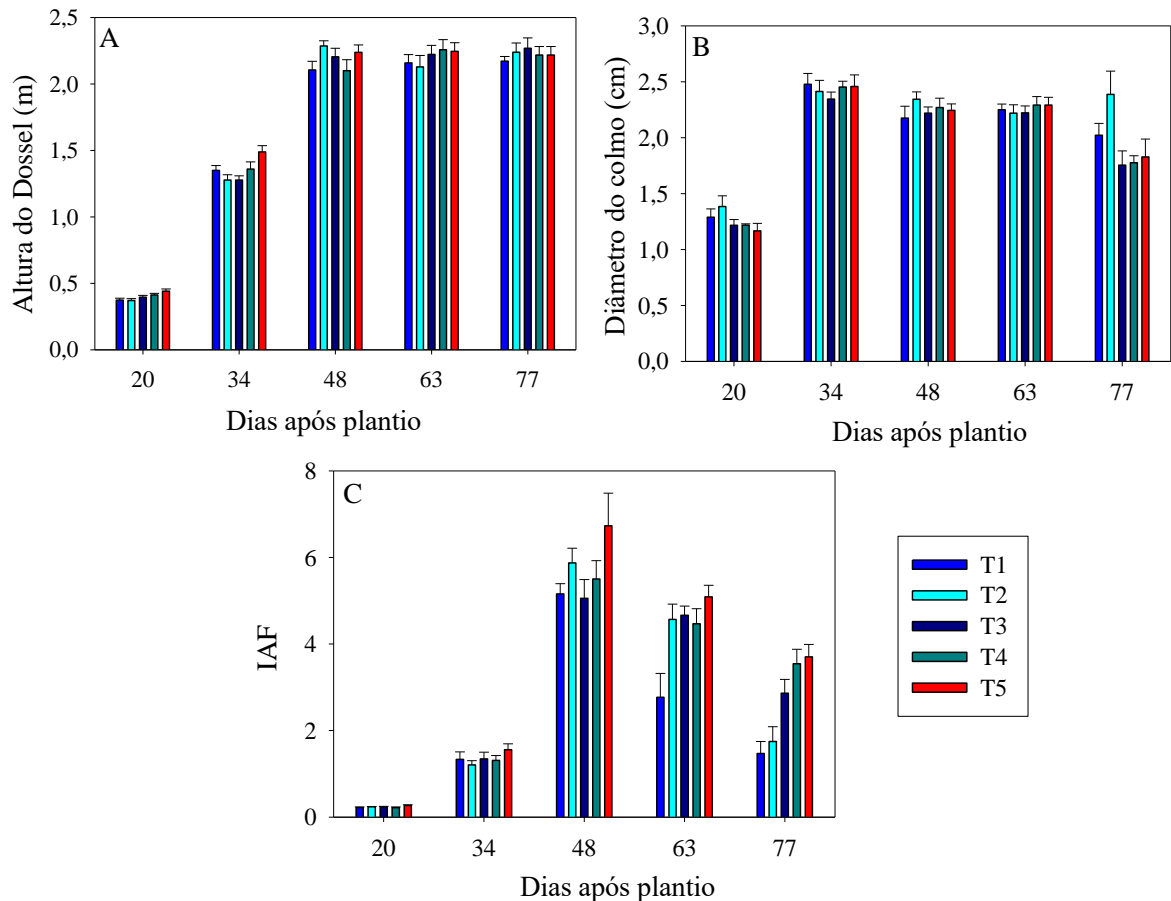
As plantas de milho cultivadas nos diferentes tratamentos apresentaram desempenhos distintos. Em T1 as plantas não floresceram, diferentemente de T2, que apesar do crescimento reduzido, teve florescimento, porém, mais desuniforme quando comparado com as plantas cultivadas em T4 e T5. Os aspectos observados quanto ao florescimento das plantas de milho foram similares aos de MELO et al. (2018) que, avaliando genótipos de milho, observaram atraso no florescimento nos tratamentos com baixa disponibilidade de água. STORCK et al. (2009) também observaram florescimento tardio do milho cultivado sob estresse hídrico.

5.2 Crescimento do milho

As variáveis biométricas foram obtidas ao longo do ciclo de cultivo do milho, em amostragens realizadas aos 20, 34, 48, 63 e 77 DAP (Apêndice B). Observa-se que não houve diferença significativa na altura do dossel e no diâmetro do colmo entre os tratamentos em nenhuma das amostragens (Figura 12) devido ao estresse ter sido provocado depois da fase de crescimento. Entretanto, para variável Índice de Área Foliar (IAF), houve diferença nas amostragens dos 63 e 77 dias após o plantio. Aos 63 DAP o IAF apresentou valores mínimo, máximo e médio de 2,8 (T1); 5,1 (T5) e 4,3. Aos 77 DAP apresentou os valores 1,5 (T1); 3,7 (T5) e 2,7, referentes ao mínimo, máximo e médio. Aos 48 DAP as plantas atingiram o IAF

máximo, o que indica maior grau de translocação dos fotoassimilados para a espiga, decrescendo em seguida devido à senescência das folhas mais velhas.

Figura 13. Variáveis biométricas (com erro padrão da média) do milho cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas durante o período de fevereiro a junho de 2019 na região de Piranhas - AL.



Fonte: Dados obtidos durante a avaliação do experimento, 2019.

O tratamento T1, em ambas as amostragens finais (63 e 77 DAP), apresentou valores de IAF menores quanto ao tratamento 5, devido a submissão ao déficit hídrico, enquanto que o tratamento 5, cujo início se deu pouco antes dos 90 DAP, ainda estava sendo irrigado, não havendo interferência de desenvolvimento. Com a submissão ao déficit hídrico por mais de 10 dias as plantas do primeiro tratamento tiveram o aumento da senescência das folhas devido à falta de água no solo provocando a indisponibilidade de nitrogênio suficiente para suprir as necessidades de desenvolvimento da cultura, com isso o nitrogênio do interior da planta é retranslocado das folhas mais velhas para os pontos de crescimento (VALENTINUZ; TOLLENAAR, 2004) havendo também a diminuição da interceptação da radiação solar. Conforme TAIZ & ZEIGER (2013), em condições de estresse hídrico, a

maioria dos vegetais busca alternativas para diminuir o consumo de água, reduzindo principalmente a transpiração e dentro das adaptações mais conhecidas, tem-se a redução da área foliar através da diminuição da quantidade de folhas e do tamanho das folhas individuais (expansão celular), visto que diminui a taxa de crescimento dos ramos. Corroborando com os resultados de JAMIESON et al. (1995), os quais verificaram em pesquisas realizadas com a cultura da cevada que o índice de área foliar está relacionado à transpiração e que varia com a época de ocorrência do déficit hídrico.

5.3 Variáveis de produção da cultura do milho

Quanto à avaliação dos parâmetros produtivos, apenas o T1 não produziu espiga. Entre os demais tratamentos, não houve diferença significativa para o número de fileiras por espiga para os tratamentos, enquanto as variáveis comprimento, diâmetro de espiga e número do grão por espiga diferiram estatisticamente. O número de grãos por espiga variou de 25 a 32 para T2 e T5, respectivamente (Tabela 6). O tratamento T2 também apresentou menor comprimento e diâmetro de espiga em relação a T5. O maior peso de mil grãos foi obtido por T5 com 26,0 g e o menor por T2 com 11,0 g, havendo diferença significativa.

Tabela 6. Valores dos parâmetros produtivos da cultura do milho, comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), número de grão por espiga (NGE), número de fileira por espiga (NFE) e peso de mil grãos (Peso), cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas de fevereiro a junho de 2019 em Piranhas - AL.

TRATAMENTOS	CE Cm	DE Cm	NGE unidade planta ⁻¹	NFE unidade planta ⁻¹	Peso g
T1- Pendoamento	-	-	-	-	-
T2 – polinização	13,3 c	3,31 b	25,40 b	14,40 a	11,0 c
T3- Grão leitoso	16,4 b	3,86 b	31,70 ab	14,20 a	16,75 b
T4- Grão pastoso	15,9 ab	4,26 ab	29,12 a	14,70 a	23,25 a
T5- Grão franáceo	17,7 a	6,51 ^a	31,97 a	14,55 a	26,00 a
Média geral	15,88**	4,48**	29,55**	14,46 ^{ns}	19,25**
CV %	4,47	25,51	6,41	3,34	10,46

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

ns - não significativo

Fonte: Dados obtidos durante a avaliação do experimento, 2019.

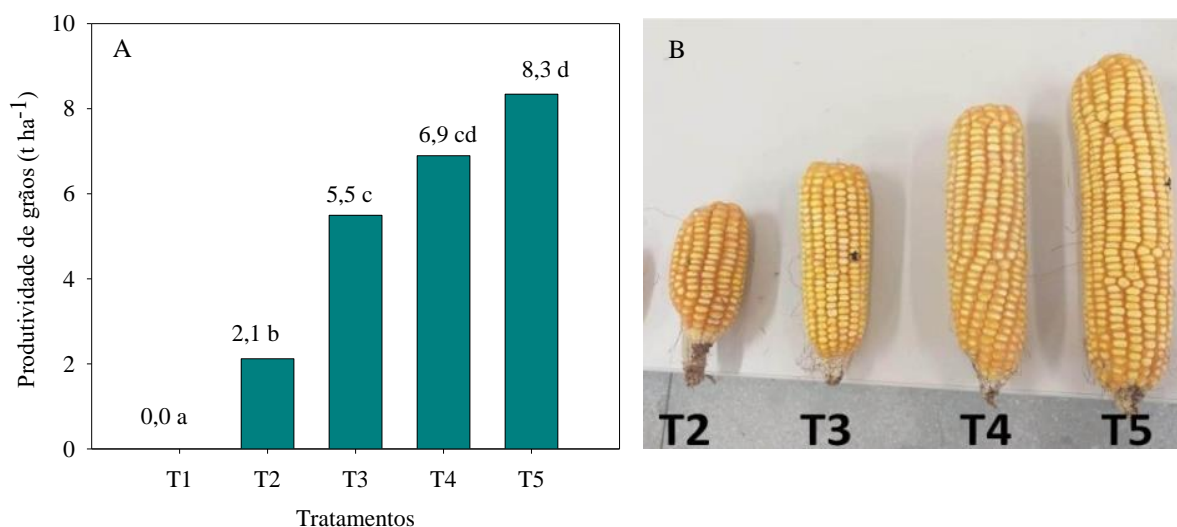
Valores menores do comprimento da espiga são observados em T2, tratamentos submetidos ao déficit hídrico na fase de polinização, estágio que define o rendimento da produtividade de grãos. O mesmo acontece para o número de grãos produzidos em cada fileira. O comprimento da espiga e número de grãos por fileira é determinado nas últimas

semanas antes do pendoamento (MAGALHÃES & DURÃES, 2006), com a submissão ao estresse nesse momento, ocorre à redução do número de grãos produzidos em cada fileira, porém o número de grãos final é determinado durante e pós a polinização. Para CIRILO & ANDRADE (1994) o número de grãos por espiga no milho dependerá das condições fisiológicas da planta no florescimento; no entanto, as condições climáticas durante o período de enchimento de grãos podem afetar a produção e a alocação de fotoassimilados para a formação dos grãos. As investigações de NEW et al. (1994) através de seus trabalhos demonstraram que o déficit hídrico causou significativo efeito na redução do número de grãos, quando ocorreu junto ou após, o florescimento e que sua massa final era função da taxa de desenvolvimento da planta e da duração do período de enchimento dos grãos.

5.4 Produtividade Agrícola

O resultado do teste de Tukey ($p \leq 0,05$) indica que houve diferença significativa para a produtividade de grãos entre os tratamentos submetidos ao déficit hídrico. O tratamento T5, submetido ao estresse aos 85 DAP foi o mais produtivo, totalizando $8,3 \text{ t ha}^{-1}$, o que equivale a aproximadamente quatro vezes a mais que o tratamento T2, que teve produtividade agrícola de apenas $2,1 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 13). O tratamento T1 não produziu nada, pois não ocorreu a formação da espiga.

Figura 14. Produtividade de grãos (A) e comparação entre as espigas nos tratamentos (B) de milho cultivado sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas durante o período de fevereiro a junho de 2019, em Piranhas - AL.



Fonte: Dados obtidos durante a avaliação do experimento, 2019.

Os tratamentos T1 e T2 foram os mais afetados, pois a produtividade do grão também foi reduzida devido ao baixo sincronismo entre o florescimento masculino e feminino que segundo SANTOS et al. (2003) pode levar a perdas de produtividade entre 35 e 50%, sob condição de estresse hídrico, sendo o estágio de florescimento considerado a fase crítica do milho. No T2 (déficit hídrico aos 55 DAP) o déficit hídrico afetou a polinização e causou baixa granação da espiga, uma vez que, sob seca, tanto os “cabelos” como os grãos de pólen tendem à dissecação MAGALHÃES et al. (1994). Para DURÃES et al. (2004) apenas dois dias de estresse hídrico durante a polinização é capaz de diminuir o rendimento em mais de 20%, e de quatro a oito dias pode provocar mais de 50% de perdas, pois é nessa época que ocorre a definição do rendimento de grãos. Em T3 (déficit hídrico aos 65 DAP) ocorreu redução de 66%, pois de acordo com ADEBAYO et al. (2014), o estágio de enchimento de grãos também é considerado uma fase crítica do milho e nessa fase o estresse hídrico reduz o rendimento de grãos, podendo ter perdas de 80%.

Diferente dos demais tratamentos, T5 foi o que mais produziu, pois não sofreu estresse durante as fases críticas, recebendo irrigação plena, e com isso não houve redução na produtividade. Conforme SILVA et al. (2018) trabalhando com análise econômica do milho irrigado na mesma região em estudo, encontraram lâmina máxima econômica igual a 841 mm (160% da ETc) para uma produtividade de 11,21 Mg ha⁻¹, para ele a lâmina máxima econômica é um pouco menor que a lâmina de máxima produtividade física, que varia em função do preço do produto e do custo com o insumo. Em trabalho realizado por SILVA et al. (2016), avaliando o rendimento da cultura do milho em quatro épocas distintas na região dos Tabuleiros Costeiros Alagoanos, Alagoas, observou que em condições adequadas de chuvas, durante o período crítico da cultura, garantiram rendimento próximo a 8 t ha⁻¹, porém em condição de déficit hídrico durante o período do pendramento até a fase de grão leitoso reduziu a produtividade para 5,6 t ha⁻¹. A falta de água nesse período, além de afetar o sincronismo pendão-espiga, pode reduzir a chance de aparecimento de uma segunda espiga, em materiais prolíficos (MAGALHÃES & DURÃES, 2006).

6. CONCLUSÃO

- Altos níveis de radiação solar e temperatura do ar não possuem muita influência no desenvolvimento do milho quando este já é cultivado sob estresse hídrico severo;
- A ocorrência de estresse hídrico por déficit hídrico a partir da fase de pendoamento do milho reduz drasticamente a área foliar, além da planta não formar espiga e conseqüentemente afetando no rendimento da produtividade;
- Quando o déficit de água ocorre da polinização em diante, o milho produz espigas mal formadas e apresenta baixo rendimento;
- A suspensão de água na fase de grão farináceo não compromete o desenvolvimento e produtividade do milho.

REFERÊNCIAS

- ABENDROTH, L. J.; ELMORE, R. W.; BOYER, M. J.; MARLAY, S. K. **Corn Growth and Development**. PMR 1009. Ames Iowa: Iowa State University, 2011. 50p.
- ADEBAYO, M. A.; MENKIR, A.; BLAY, E.; GRACEN, V.; DANQUAH, E.; HEARNE, S. Genetic analysis of drought tolerance in adapted x exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. **Euphytica**, v.196, 261p. 2014.
- ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (Irrigation and drainage paper, 56).
- ALMEIDA, Bruno Marçal de. **Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em ambiente protegido**. 2017. Tese (Doutorado) - Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, 2017.
- ALVES, B. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, C. B. M.; SILVA L. P. da. Divergência genética de milho transgênico em relação à produtividade de grãos e da qualidade nutricional. **Ciência Rural**, Santa Maria v.45, n.5, p.884-891, 2015.
- ANJOS, Franklin Alves dos. **Cultivo do milho irrigado no Semiárido alagoano e modelagem com o aquacrop/fao®**. 2016. Tese (Doutorado) - Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2016.
- ASSIS, J. P.; DOURADO NETO, D.; NASS, L. L.; MANFRON, P. A.; BONNECARRERE, R. A. G.; MARTIN, T. N. Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p.539-543, 2006.
- BÄNZIGER, M.; EDMEADES, G. O.; BECK, D.; BELLON, M. **Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice**. México: CIMMYT. p.68, 2000.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. A. **Cultura do Milho**. Universidade de Évora. 2014.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MULLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G.

Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

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

BRITO, M. E. B.; ARAÚJO FILHO G. D.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.5, p.1244-1254, 2013.

CAIXETA FILHO, J. V.; NUSSIO, L. G. **Visão agrícola: milho**. Piracicaba, USP/ESALQ, 2015.

CORDEIRO, Cláudio José Soriano. **Balanco de água no solo para o milho no Semiárido alagoano**. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica) -Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas- CECA (UFAL), Rio Largo – AL, 2019.

CARON, B. O.; OLIVEIRA, D. M.; ELLI, E. F.; ELOY, E.; SCHWERZ, F.; SOUZA, V. Q. Elementos meteorológicos sobre características morfológicas e produtivas do milho em diferentes épocas de semeadura. **Científica**, Jaboticabal, v.45, n.2, p.105-114, 2017.

CARVALHO, A. L.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SILVA, E. C. Estação chuvosa e de cultivo para a região de Rio Largo, Alagoas baseada em métodos diretos e sua relação com o El Niño – Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.28, n.2, p.192-198, 2013.

CAVALCANTE JUNIOR E. G.; MEDEIROS, J. F.; FREITAS, I. A. S.; OLIVEIRA A. K. S.; SOBRINHO, J. E., SILVA, J. P. N.; SILVA, THIERES, G. F. Necessidade hídrica da cultura do milho influenciada pelas mudanças climáticas no Semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.2, p.251-262, 2018.

CIRILO, A.G.; ANDRADE F.H. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1039-1043, 1994.

COELHO, Antônio Marcos. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Circular técnica, 96).

COÊLHO, Maria Reis Valois. **Alterações fisiológicas e metabólicas em *Hyptis fruticosa salzm. ex. benth* e *ocimum gratissimum* L. sob diferentes regimes hídricos**. 2014. 87 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Feira de Santana, Feira de Santana, 2014.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. de.; SANTANA, D. P. **Manejo da cultura do Milho**. Sete Lagoas: (Circular Técnica, 87), EMBRAPA, p.2, 2006.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DURÃES, F. O.; GOMES, E. E.; GAMA, M. X. D. S.; DOS SANTOS, F. G.; COELHO, A. M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; CARLOS, A. **Fenotipagem associada à tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcadores**. Sete Lagoas: (Circular Técnica, 39). Embrapa, p. 17, 2004.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

GILMORE, E.; ROGERS, J. S. Heat units in a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, v.50, p.611-615, 1958.

GUIMARÃES, O. S.; PATERNIANI ROCHA, D. S.; M. E. A. G. Z. Conteúdo de carboidrato foliar em híbridos de milho submetidos à restrição hídrica. **Evidência**, v. 19, n. 2, p. 93-112, 2019.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, v.17, n.5, p.32-35, 1999.

HERNÁNDEZ, M.; ECHARTE, L.; DELLA MAGGIORA, A.; CAMBARERI, M.; BARBIERI, P.; CERRUDO, D. Maize water use efficiency and evapotranspiration response to N supply under contrasting soil water availability. **Field Crops Research**, v. 178, n. 1, p. 8-15, 2015.

HUNT, R. Growth analysis, individual plants. In: THOMAS B, MURPHY D.J.; MURRAY D. (eds.) **Encyclopaedia of Applied Plant Sciences**. London: Academic Press. p.579-588, 2003.

JAMIESON, P. D.; FRANCIS, G. S.; WILSON, D. R.; MARTIN, R. J. Effects of water deficits on evapotranspiration from barley. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.76, p.41-58, 1995.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H.J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agricultural Biology, Faisalabad**, v.11, p.100–105, 2009.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.7, 2010.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. Clima e solo. In: CRUZ, J.C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 1).

LI, Y.; SPERRY, J. S.; SHAO, M. Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v.66, p.341-346, 2009.

LIMA, Ivan Fernandes. **Fundamentos geográficos do meio físico do Estado de Alagoas**. Maceió: Série Estudo de Regionalização, v. 3, Maceió, 1977. 93 p.

MACHADO, Jane Rodrigues de Assis. **O excesso de chuvas e a cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas. (1 - 2.), 2016.

MAGALHÃES, P. C.; RESENDE, M.; OLIVEIRA, A. C. de; DURÃES, F. O. M.; SANS, L. M. A. **Caracterização morfológica de milho de diferentes ciclos**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20, 1994, Goiânia. Centro Oeste-cinturão do milho e do sorgo no Brasil: resumos. Goiânia, ABMS, p. 190, 1994.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPQ, 10p. (Embrapa - CNPMS. Circular Técnica, 76), 2006.

MAGALHÃES, B. G. **Simulação de estratégias de manejo da cultura do milho para mitigar efeitos de mudanças climáticas**. 2017. 75 p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, 2017.

MEDEIROS, Rui Palmeira. **Componentes do balanço de água e de radiação solar no desenvolvimento do milho, em quatro épocas de semeadura, no agreste de alagoas**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Rio Largo-AL, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, p.90, 2009.

MELO, A. V.; DOS SANTOS, V. M.; VARANDA, M. A. F.; CARDOSO, D. P.; DIAS, M. A. R. Desempenho agrônômico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no Sul do Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v.17, n. 2, p.177-189, 2018.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.13, p. 75-87, 2001.

NEW, B.; DUTHION, C.; TURC, O. Phenological response of pea to water stress during reproductive development. **Crop Science**, Madison, v.34, p.141-146, 1994.

OLIVEIRA, G. A.; ARAÚJO, W. F.; CRUZ, P. L. S.; SILVA, W. L. M. da; FERREIRA, G. B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**. v.42, n.4, p.872-882, 2011.

OLIVEIRA, J. R.; PINTO, M. F., SOUZA, W. J.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Erosão hídrica em um argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.14, p.140-147, 2010.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440 p.

PRADO, C. H. B. A.; CASALI, C. A. **Fisiologia vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. 1ª. Ed., São Paulo: Editora Manole - Barueri, 448 p, 2006.

ROCHA, A. E. Q.; LYRA. G. B.; MEDEIROS, R. P.; SOUZA, J. L.; LYRA. G. B.; FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SÁ, L. A.; MOURA, A. B. **Crescimento do milho em função dos graus-dia acumulados em quatro épocas de plantio na região de Arapiraca-AL**. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SANTOS, M. X.; ANDRADE, C.; OLIVEIRA, A. C.; LEITE, C. E. P.; CARVALHO, H. W. L.; GAMA, E. E. G.; PARENTONI, S. N. Selected and non-selected maize hybrids behavior for ASI under water stress in flowering and grain filling. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo (Brazil)**, v. 2, p 71-81, 2003.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JUNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas ao déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 836–842, 2012.

SANTOS, G. R.; SANTOS, É. M. C.; LIRA, E. S.; GOMES, D. L.; SOUZA, M. A.; ARAUJO, K. D. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar de Olho D'Água do Casado, Delmiro Gouveia e Piranhas, Alagoas. **REGNE**, v.3, n.1, 2017.

SANTOS, B. C.; PERUSSI, R.; PEREIRA DIEGO, N. B.; SOUZA, P. H. Agricultura Sintrópica na Bacia do Ribeirão do Feijão: uma proposição a partir dos balanços hídrico e energético na Região. **Caderno de Geografia**, v.28, n.53, 2018.

SANTOS, R. L. V.; BARBOSA, J. P. F.; SOUZA, W. C. L.; SILVA, L. E. B.; BRITO, D. R.; BRITO, D. B. Rendimento do híbrido de milho (*Zea mays* L.) AG 1051 sob diferentes populações de plantas em irrigação deficitária por gotejamento no Agreste Alagoano. **Revista da Universidade Estadual de Alagoas/UNEAL**, v.12, n.12, 2020.

SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C.; Water deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p. 2152-25, 2008.

SILVA, S.; COSTA, CÍCERO, T. S.; NASCIMENTO, R.; TEODORO, I.; CANTARELLI, A. L. D., SOARES M. A. S. Épocas de plantio e dose econômica de nitrogênio para o milho cultivado nos Tabuleiros Costeiros Alagoanos. **Revista Agroambiente On-line**, v.10, n.2, p.114 - 122, 2016.

SILVA, M. A. V.; FERREIRA, W. M. P.; ANDRADE, V. M. S.; COSTA, J. M. N. Influência das condições microclimáticas no crescimento do milho BR 106, cultivado sob sementeira direta. **Revista de Ciências Agrárias**, v.39, n.3, p.383-394, 2016a.

SILVA, S.; COSTA, C. T. S.; NASCIMENTO, R.; TEODORO, I.; CANTARELLI, A. L. D.; SOARES, M. A. S. Épocas de plantio e dose econômica de nitrogênio para o milho cultivado nos Tabuleiros Costeiros Alagoanos. **Revista Agro@mbiente Online**, v.10, n.2, p.114-122, 2016b.

SILVA, S.; GUIMARÃES, R. F. B.; NASCIMENTO, R.; OLIVEIRA, H.; TEODORO, I.; CARDOSO, J. A. F.; BEZERRA, C. V. C.; PENHA, J. L. Economic Use of Water in Drip-Irrigated Maize in Semi-Arid Region of Brazil. **Journal of Agricultural Science**; v.10, n.3, p.364-369, 2018.

SILVA, Samuel. **Índices fisiológicos e econômicos do milho sob níveis de água, nitrogênio e épocas de cultivo**. 2019. Tese (Doutorado)-Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande-PB, 2019.

SOARES, Marcelo Augusto da Silva. **Cultivo do milho sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, na região de Rio Largo, Alagoas**. 2019. Dissertação – Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas- CECA (UFAL), 2019.

SOUSA, Valéria Fernandes de Oliveira. Uso de bactérias como inoculante e fonte de fertilizante na cultura do milho. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 3, p. 053-057, 2020.

STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LOPES, S. J.; TOEBE, M.; SILVEIRA, T. R. da. Duração do subperíodo sementeira-florescimento, crescimento e produtividade de milho em condições contrastante. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 1, p. 27-39, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

VALENTINUZ, O. R.; TOLLENAAR, M. Vertical profile of leaf senescence during the grain filling period in older and newer maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 44, p. 827-834, 2004.

VIEIRA JÚNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R. F.; PERES, L. E. P.; MARTIN, T. N.; MANFRON, P. A.; BONNECARRÈRE, R. A. G. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico milho e sorgo submetidas a estresse hídrico submetidas a estresse hídrico. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 555-561, 2007.

WELCKER, C.; BOUSSUGE, B.; BENCIVENNI, C.; RIBAUT, M.; TARDIEU, F. Are source and sink strengths genetically linked in maize plants subjected to water deficit?: a QTL study of the responses of leaf growth and of Anthesis-Silking Interval to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 58, p. 339-349, 2007.

APÊNDICE A - BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

O balanço de água no solo foi contabilizado por meio do método proposto por THORNTHWAITE & MATHER (1955), no qual a partir dos dados de precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ETC) e da capacidade de água disponível no solo (CAD), chegou-se aos valores de disponibilidade de água no solo (Armazenamento = ARM), de alteração do armazenamento de água do solo (ALT) com a variação da ARM, da evapotranspiração real (ETR), de deficiência hídrica (DEF) e de excedente hídrico (EXC).

A partir das características físico-hídricas do solo a capacidade de água disponível no solo foi estimada pela equação 8:

$$CAD = [(CC\% - PMP\%)/100] * dg * z_r * \quad (8)$$

Em que: CAD é a água disponível total na zona radicular (mm); CC%umidade da capacidade de campo; PMP% umidade do ponto de murcha; z_r é a profundidade efetiva do sistema radicular (m) e dg e a massa específica do solo.

Para determinação do negativo acumulado (NEG. ACUM) e do ARM com (P-ETC) < 0, calculou-se o NEG. ACUM, ou seja, os valores de (P-ETC) negativos, e posteriormente se calcula o valor do ARM (Equação 9).

$$ARM = CAD e^{\left[\frac{NEGACUM}{CAD}\right]} \quad (9)$$

Em que: ARM é o armazenamento de água no solo (mm); CAD é a água disponível total na zona radicular (mm) e NEG. ACUM é o negativo acumulado.

Para determinação do negativo acumulado (NEG. ACUM) e do ARM com (P-ETC) ≥ 0, calculou-se primeiro o ARM (Equação 10) e posteriormente calcula-se o NEG. ACUM (Equação 11). Nesse caso o NEG. ACUM deve ser determinado no caso de haver um próximo período com (P-ETC) < 0.

$$ARM = ARM_{anterior} + (P - ETC) \quad (10)$$

Em que: ARM é o armazenamento de água no solo (mm); P é a precipitação média mensal (mm) e ETC é a evapotranspiração da cultura (mm).

$$\text{NEG ACUM} - \text{CAD} \ln \left[\frac{\text{ARM}}{\text{CAD}} \right] \quad (11)$$

Em que: NEG. ACUM é o negativo acumulado; CAD é a água disponível total na zona radicular (mm) e o ARM é o armazenamento de água no solo (mm).

Para determinação do ALT calculou-se:

$$\text{ARM} = \text{ARM} - \text{ARM}_{\text{anterior}} \quad (12)$$

Em que: ARM é o armazenamento de água no solo (mm).

Para o cálculo da ETR com (P-ETC) < 0 foi estimada pela equação 13 e com (P-ETC) ≥ 0 pela equação 14:

$$\text{ETR} = P + |\text{ALT}| \quad (13)$$

Em que: P é a precipitação média mensal (mm) e ALT é a alteração da umidade do solo (ARM), do último dia do mês anterior para o último dia do mês em questão.

$$\text{ETR} = \text{ETC} \quad (14)$$

Em que: ETC é a evapotranspiração da cultura (mm).

Para a determinação da DEF uso-se a equação 15:

$$\text{DEF} = \text{ETC} - \text{ETR} \quad (15)$$

Em que: ETC é a evapotranspiração da cultura (mm) e ETR é a evapotranspiração real da cultura (mm).

Para a determinação do EXC com ARM < CAD utilizou-se a equação 16:

$$EXC = 0 \quad (16)$$

Em que: EXC é o excesso hídrico (mm).

Para a determinação do EXC com ARM = CAD utilizou-se a equação 17:

$$EXC = (P - ETR) - ALT \quad (17)$$

Em que: P é precipitação média mensal (mm); ETR é a evapotranspiração real média mensal (mm) e ALT é a alteração da umidade do solo (ARM), do último dia do mês anterior para o último dia do mês em questão.

Após finalização do Balanço Hídrico foi aferido à exatidão dos cálculos pelas seguintes equações:

$$\sum P = \sum ETC + \sum (P - ETC) \quad (18)$$

Em que: P é a precipitação média mensal (mm) e ETC é a evapotranspiração da cultura (mm).

$$\sum P = \sum ETR + \sum EXC \quad (19)$$

Em que: P é a precipitação média mensal (mm); ETR é a evapotranspiração real média mensal (mm) e EXC é o excesso hídrico, representando a percolação abaixo do sistema radicular (mm).

$$\sum ETC = \sum ETR + \sum DEF \quad (20)$$

Em que: ETC é a evapotranspiração de referência (mm); ETR é a evapotranspiração real média mensal (mm) e DEF é a deficiência hídrica (mm).

$$\sum ALT = 0 \quad (21)$$

Em que: ALT é a alteração da umidade do solo (ARM), do último dia do mês anterior para o último dia do mês em questão.

APÊNDICE B - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PELO TESTE F

Tabela 7. Resumo da análise de variância pelo teste F para AD - altura do dossel (m), DC - diâmetro do colmo (cm) e IAF - índice da área foliar ao longo dos dias após o plantio (DAP) sob efeito do déficit hídrico em diferentes fases fenológicas do milho em Piranhas – AL.

FV	QUADRADO DE MÉDIAS														
	20 DAP			34 DAP			48 DAP			63 DAP			77 DAP		
	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF
Bloco	0,03*	0,00**	0,02*	0,07 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,00**	0,13 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,04*	0,03*	0,02*	0,39 ^{ns}	0,00**
Tratamento	0,06 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,05*	0,82 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,00**
CV (%)	8,30%	11,26%	10,53%	7,80%	7,17%	16,82%	5,60%	5,60%	15,52%	7,88%	6,71%	23,25%	5,27%	28,08%	20,39%
Média geral	0,40	1,25	0,23	1,35	2,43	1,35	2,25	2,25	5,66	2,20	2,25	4,31	2,22	1,95	2,66

** significativo ($p \leq 0,01$), * significativo ($p \leq 0,05$) e ^{ns} não significativo pelo teste