



**FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL**

**Licenciatura em Engenharia Agronómica**



**Tema:** Desempenho agronómico de variedades da cultura de milho em diferentes níveis de irrigação e adubação.

**Autor:**

Milando, Filipe Rosita

**Supervisores:**

Prof. Doutor Sebastião Famba

Mestre Jone Medja

Maputo, 17 de Dezembro de 2025

**Desempenho agronómico de variedades da cultura de milho em diferentes níveis de irrigação e adubação.**

Projeto final submetido a Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (Departamento de Engenharia Rural), como um dos requisitos para obtenção do grau da Licenciatura em Engenharia Agronómica. sob supervisão do Prof. Doutor Sebastião Famba e Mestre Jone Medja.

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Eu, Filipe Rosita Milando, declaro por minha honra que o presente trabalho para a culminação do curso é da minha autoria e nunca foi submetida nesta ou em outra instituição para aquisição de qualquer outro grau académico, é resultado do esforço individual e de orientação dos meus supervisores. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente citadas no texto e na bibliografia final. O presente trabalho é apresentado em cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do título do licenciado em Engenharia Agronómica, no Departamento de Engenharia Rural da Universidade Eduardo Mondlane.

**Filipe Rosita Milando**

---

Maputo, aos \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2025

---

## **DEDICATÓRIA**

O presente trabalho é dedicado a minha mãe, Rosita Milando, pela educação, confiança e apoio incondicional. Ao meu irmão, Zaquias Milando; sua esposa, Rosalina Chalala; e seus filhos, Calton Milando, Hílodia Milando e a falecida (em memória) pelo todo suporte, motivação, amizade e por acreditarem no meu potencial. E aos meus tios, Berta Milando e William Hobjane pelo apoio e acolhimento durante a formação.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida, pelas bênçãos e pela proteção em todos momentos.

O presente trabalho foi financiado pelo Fundo Nacional de Investigação (FNI) e implementado pela Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal – Universidade Eduardo Mondlane (UEM). Expresso a minha sincera gratidão aos meus supervisores, Prof. Doutor Sebastião Famba e Mestre Jone Medja, pelo apoio científico, orientação, credibilidade e paciência demonstrados ao longo da realização do trabalho.

Ao corpo técnico do Departamento de Engenharia Rural, o meu profundo agradecimento, em especial ao dr. Eddy Orquídeo Mundlovo, pela orientação e engajamento; Sr. Betuel Sigaúque e ao motorista Sr. Sérgio, pelo apoio prestado. Estendo igualmente o meu reconhecimento ao corpo técnico do Centro de Desenvolvimento Agrário de Sabié (CEDAS) e seus colaboradores, especialmente ao Sr. Ramos Siteo, pelos conselhos e amizade, bem como ao Sr. Manuel Vilanculos, Sr. Alfredo e Sr. Fabião, pela colaboração constante.

A minha colega do campo Beatriz Langa, agradeço pelos conselhos, momentos de felicidade, amizade, companheirismo e pela experiência partilhada ao longo do percurso.

A minha mãe, Rosita Milando, meu irmão, Zaquias Milando, à sua esposa, Rosalina Chalala e aos seus filhos, Calton e Hílodia, manifesto o meu mais profundo agradecimento pelo apoio, por apostarem na minha educação, afeto e motivação. À família Hobjane, pela hospitalidade durante a formação, e às minhas primas Aida Noge e Nádia Mapanga pelo todo apoio, meu sincero obrigado.

Aos meus melhores amigos, Silêncio Singa, Laque Singa, Denisse Nhaca e Maria Teixeira pela grande amizade e companheirismo. Aos meus amigos, Mónica Mondlane (pelo apoio e companheirismo em todos momentos), Yolanda Comé (pela confiança e confidencialidade); Joel Luis, Zacarias Cairo e Yud Caetano (pelo apoio científico e colaboração); Elina Mapanga, Tandamo Famba, e Zelma Gujamo (pela companhia e amizade), deixo meu sincero reconhecimento.

Aos meus colegas, Arnela Feniase, André Mazive, Eliana Fernando, Domingos e Maria Nhancole, agradeço por fazerem parte do meu percurso académico.

## RESUMO

Cerca de 90% da agricultura moçambicana é dominada pelo sector familiar, sendo praticada em pequenas parcelas, com baixo uso de insumos e de tecnologias melhoradas, que em baixos rendimentos e baixa capacidade de resiliência face às mudanças climáticas. A cultura do milho não foge a esse cenário, embora seja considerada a mais importante do país, ainda é cultivada na sua maioria em condições de sequeiro com rendimento médio de 977 Kg.ha<sup>-1</sup>, muito inferior quando comparado com outros países da África subsariana.

O presente trabalho teve como objectivo avaliar o desempenho agronómico de variedades de milho sob diferentes níveis de irrigação e adubação. O ensaio foi conduzido no Centro de Desenvolvimento Agrário de Sábie (CEDAS), da Universidade Eduardo Mondlane (UEM), no período de 17 de Junho a 22 de Dezembro de 2024. Foi usado o delineamento experimental de blocos completos casualizados (DBCC) em arranjo fatorial, com três factores, **irrigação**, com dois níveis: irrigação óptima (100% ETp) e défice hídrico (30% ETp), aplicados por meio de um sistema de aspersão em linha (line source sprinkler); **adubação**, com dois níveis: adubado e não adubado; **três (3) variedades de milho**: Matuba, SC 419 e MRI 514. Pelo que o arranjo fatorial resultante foi de  $3 \times 2 \times 2$ .

As variáveis avaliadas incluíram rendimento de grãos, biomassa aérea, altura de inserção da espiga, altura das plantas, peso de 100 sementes e índice de colheita e índice de área foliar (IAF). Os resultados evidenciaram que a água foi o factor mais determinante em todas as variáveis avaliadas, apresentando efeito significativo ( $P < 0,05$ ) em todas elas. Os maiores rendimentos de grãos e biomassa aérea foram obtidos com irrigação óptima (100% ETp) e adubação. O índice de área foliar (IAF) apresentou forte correlação com a altura das plantas e com a biomassa aérea ( $R^2 = 0,80$ ). A variedade tradicional Matuba não apresentou diferenças significativas em relação aos híbridos quanto ao rendimento de grãos, índice de colheita, altura das plantas e peso de 100 sementes.

**Palavra-chave:** Irrigação, adubação mineral e variedades de milho, Aspersão em linha (Line Source Splinker) e índice de área foliar.

## ABSTRACT

Approximately 90% of Mozambican agriculture is dominated by the family sector, practiced on small plots with low use of inputs and improved technologies, resulting in low yields and limited resilience to climate change. Maize production does not escape this reality; although it is considered the most important crop in the country, it is still predominantly grown under rainfed conditions, with an average yield of  $977 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , which is much lower when compared to other countries in sub-Saharan Africa.

The present study aimed to evaluate the agronomic performance of maize varieties under different irrigation and fertilization levels. The experiment was conducted at the Agricultural Development Center of Sábie (CEDAS), Eduardo Mondlane University (UEM), from 17 June to 22 December 2024. A randomized complete block design (RCBD) in a factorial arrangement was used, with three factors: irrigation, with two levels: optimal irrigation (100% ETp) and water deficit (30% ETp) applied using a line-source sprinkler system; fertilization, with two levels (fertilized and unfertilized); and three (3) maize varieties: Matuba, SC 419, and MRI 514. The resulting factorial arrangement was  $3 \times 2 \times 2$ .

The evaluated variables included grain yield, above-ground biomass, ear insertion height, plant height, 100-seed weight, harvest index, and leaf area index (LAI). The results showed that water was the most determining factor for all evaluated variables, presenting a significant effect ( $P < 0.05$ ) across all of them. The highest grain yields and above-ground biomass were obtained under optimal irrigation (100% ETp) and with fertilization. The leaf area index (LAI) showed a strong correlation with plant height and above-ground biomass ( $R^2 = 0.80$ ). The traditional variety Matuba did not show significant differences compared to hybrid varieties in terms of grain yield, harvest index, plant height, and 100-seed weight.

## Índice

1.	Introdução .....	12
1.1	Antecedentes.....	12
1.2	Problema de estudo e justificação.....	13
1.3	Objectivos .....	14
1.3.1	Geral .....	14
1.3.2	Específicos .....	14
2.	Revisão bibliográfica .....	15
2.1	Aspectos gerais do milho.....	15
2.1.1	Origem, classificação Taxonômica e importância.....	15
2.1.2	Estágios fenológicos .....	15
2.1.3.	Algumas variedades de milho produzidas em Moçambique.....	19
2.1.4.	Produção e produtividade do milho.....	21
2.1.5.	Necessidades hídricas de milho.....	25
2.1.6.	Efeito do estresse hídrico no milho .....	27
2.1.7.	Adubação na cultura de milho.....	28
2.2	Rega por aspersão em linha .....	30
2.3	Índice de área foliar (IAF) .....	31
3.	Materiais e métodos .....	33
3.1	Descrição da área de estudo .....	33
3.2	Desenho experimental e manuseio do ensaio .....	34
3.3	Teste e distribuição de água no ensaio .....	38
3.4	Determinação do rendimento da cultura de milho .....	39
3.5	Avaliação do desenvolvimento vegetativo e componentes de rendimento.....	41
3.6	Avaliação da correlação entre índice de área foliar (IAF) e outras variáveis fenológicas e o seu comportamento ao longo do ciclo. ....	41
3.7	Análise de dados .....	44
4.	Resultados e discussão.....	46
4.1	Perfil de distribuição de água no Sistema aspersão em linha. ....	46
4.2	Lâmina total de água fornecida .....	47
4.3	Avaliação dos parâmetros fenológicos na culturas de milho. ....	48

4.4	Correlação entre índice de área foliar (IAF) e outras variáveis fenológicas. ....	59
5.	Conclusões .....	61
6.	Recomendações .....	62
7.	Referências bibliográficas. ....	63
8.	Anexos .....	69

## ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1: Estágios de desenvolvimento.....	16
Figura 2: Maiores produtores de milho. ....	22
Figura 3: Variação da produção de Milho (2015 – 2022). ....	23
Figura 4: Variação da produção de milho e população nacional (2015 – 2022). ....	23
Figura 5: Análise do rendimento do milho no território nacional. ....	24
Figura 6: Variação do rendimento do milho (2015 -2022).....	25
Figura 7: Coeficiente de cultivo (Kc) ao longo do desenvolvimento do milho. ....	26
Figura 8: Acúmulo de matéria seca, nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea de plantas de milho.....	29
Figura 9: Campo experimental do CEDAS em Sábie. Os ensaios on station foram realizados no campo indicado na imagem aérea, pelo rectângulo a vermelho. ....	33
Figura 10: Esquema dos tratamentos no ensaio. ....	36
Figura 11: Representação da área útil. ....	40
Figura 12: LP-80 ACCUPAR.....	42
Figura 13: Representação da área de amostragem da biomassa. ....	43
Figura 14: Representação da área de amostragem da altura da planta e IAF. ....	43
Figura 15: Perfil de distribuição de água dos aspersores. ....	46
Figura 16: Lâmina total de água (mm) de irrigação e precipitação acumulada.....	47
Figura 17: Irrigação e Precipitação acumulada (mm) ao longo do ciclo da cultura. ....	48
Figura 18: Biomassa área das variedades de Milho. ....	50
Figura 19: Rendimento do milho na interação entre factores nível de rega e adubação.....	51
Figura 20: Rendimento das variedades de milho em diferentes níveis de irrigação e adubação. .	53
Figura 21: Altura de inserção da espiga nas diferentes variedades de milho .....	54
Figura 22: Altura de inserção da espiga nas diferentes variedades de milho Altura de inserção da espiga nas diferentes variedades de milho .....	56
Figura 23: Altura das plantas na interação entre factores nível de água e nível adubação .....	56
Figura 24: Peso de 100 sementes de milho em diferentes níveis de água.....	58
Figura 25: Coeficiente de colheita das variedades.....	59
Figura 26: Correlação entre índice de área foliar (IAF), altura da planta e biomassa aérea na cultura de milho. ....	60

## ÍNDICE DAS TABELAS

Tabela 1: Algumas variedades do milho produzidas em Moçambique. ....	20
Tabela 2: Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividades. ....	29
Tabela 3: Descrição dos tratamentos.....	34
Tabela 4: Classificação do desempenho dos sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen. ....	39
Tabela 5: Coeficiente de uniformidade de Christiansen. ....	47

Tabela 6: Valor de probabilidade das variáveis fenológicas e do rendimento do milho. ....49

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

(1) Evapotranspiração da cultura.....	26
(2) Intensidade de precipitação .....	37
(3) Coeficiente de uniformidade de Christiansen.....	38
(4) Lâmina total de água .....	38
(5) Rendimento de grão de milho e biomassa aérea.....	40
(6) Índice de colheita .....	40
(7) Rendimento da biomassa aérea acumulada.....	42

## Lista de abreviaturas

IAF Índice de área foliar

MADER Ministério de agricultura e engenharia rural

IIAM Instituto de investigação agrária de Moçambique

Embrapa Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária

CEDAS Centro de Desenvolvimento Agrário de Sábìè

ETc Evapotranspiração da cultura

ETo Evapotranspiração de referência

ETP Evapotranspiração potencial

FAOSTAT Estatísticas agrárias do Fundo das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação

ANOVA Análise de variância

DDS Dias depois a sementeira

OPV Variedade de polinização aberta

BS Clima de estepe seco

MINAG Ministério da Agricultura

MAE Ministério da Agricultura Ministério de Administração Estatal

TIA Trabalho de Inquérito Agrícola

## **1. Introdução**

### **1.1 Antecedentes**

Na África Subsaariana, cerca de 80% das famílias rurais conseguem os seus rendimentos pela prática da agricultura em pequenas parcelas de terra, em média inferiores a 2 ha, com produção voltada para o autoconsumo e o excedente comercializado (Davis et al., 2017). Apesar da existência do grande potencial os agricultores enfrentam enormes desafios, incluindo a fraca capacidade de resposta às adversidades climáticas (secas prolongadas e inundações), limitações financeiras para aquisição de insumos e tecnologias agrícolas apropriadas à realidade local (MINAG, 2010), levando a baixos rendimentos e a insegurança alimentar.

Em particular, Moçambique apresenta extensas áreas agrícolas, aproximadamente 36 milhões de hectares de terras aráveis, dos quais apenas 10% em uso. A actividade agrícola é praticada maioritariamente pelo sector familiar, com baixo uso de tecnologias modernas ou tecnologias apropriadas para potencializar os rendimentos da produção local (MINAG, 2010)

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais importantes no mundo, ocupando a terceira posição após o trigo e arroz, em termos de área cultivada, sendo utilizado para o consumo humano e animal, principalmente na indústria de ração animal (Tejeda, 2019). Em Moçambique Esta cultura ajuda no alcance da segurança alimentar e é muito importante para o sustento das pessoas que vivem nas zonas rurais (Uaiane, 2006).

Apesar do milho ser considerado um dos principais alimentos básicos nas comunidades, a produção e produtividade do milho em Moçambique é ainda muito baixa quando comparada com a média dos países da região da África Subsaariana. De acordo com MADER (2023), o rendimento médio para o milho é de 977 kg/ha, o equivalente a 19 sacos/ha. Esta baixa produtividade pode ser justificada pela característica do sistema produtivo predominante no país, segundo o qual a produção de milho e outras culturas alimentares está virada na sua maioria para a subsistência.

Para se alcançar os objectivos de segurança alimentar e nutrição para todos e de redução da pobreza é necessário uma transformação progressiva do sector agrário da produção familiar de subsistência para uma economia integrada conduzida pelo crescimento da produtividade agrícola (Gabre-Madhin & Johnston, 2002). Nesta perspectiva, nos últimos 11 anos em Moçambique foram produzidas 16 variedades do milho, das quais 6 são híbridos, e algumas chegam a atingir uma produtividade de 10 toneladas por hectare (Senete et al., 2023).

Todavia, conforme Cunguara e Jorge (2013), é essencial escolher tecnologias agrícolas que se adequem às condições variadas dos produtores, garantindo assim melhores resultados e maior adopção das tecnologias. O objectivo deste estudo foi avaliar o desempenho agronómico de três variedades de milho (Matuba, SC 419 e MRI 514), em diferentes níveis de irrigação e fertilização para identificar as quantidades de água e adubo que aumentam o seu rendimento, com o intuito de assegurar alimentação nas comunidades rurais e resiliência face as mudanças climáticas.

## **1.2 Problema de estudo e justificação**

O milho é a cultura agrícola mais importante em Moçambique, ocupando cerca de 1/3 da área total cultivada no país (Howard et al., 2010). Apesar da grande importância socioeconómica do milho no país, o mesmo é cultivado maioritariamente em regime de sequeiro (Siteo, 2005) em todas as regiões de Moçambique, sendo as regiões centro e norte as que pelo menos apresentam excedente. A zona sul do país é caracterizada por solos arenosos pobres e por um regime de precipitação baixa e irregular, factores que não potenciam uma agricultura familiar para culturas não tolerantes a seca, como o milho (Tostão et al. 2010). Essa situação é exacerbada pelas mudanças climáticas, aumentando os desafios enfrentados pela agricultura de familiar, particularmente nas zonas rurais, onde a dependência das chuvas e fertilidade do solo tornam o sistema produtivo vulnerável.

Apesar da crescente adopção da irrigação suplementar em algumas zonas agrícolas, os rendimentos do milho ainda permanecem baixos (476 kg/ha) e aquém do seu potencial produtivo. Diversos estudos indicam que a simples disponibilidade de água não garante elevados rendimentos, quando a irrigação não é realizada na quantidade adequada, no momento fenológico correcto ou quando não está associada a uma adubação equilibrada e eficiente (FAO, 2011).

Face a estes desafios, Macamo e Siteo (2016), apontaram quantidade apropriada de água e nutrientes como sendo factores importantes para a obtenção de altos rendimentos na cultura de milho. Além disso, o MAAP (2014) destaca o potencial genético da cultivar utilizada como um dos factores determinantes para o aumento da produtividade do milho. Dessa forma, torna-se essencial realizar um estudo para identificar a combinação da quantidade de água e o nível de adubação que assegure melhor rendimento da cultura de milho, assim como as variedades com bom desempenho em diferentes condições de disponibilidade de água e nutrientes, adaptando-se as condições dos pequenos produtores.

## **1.3 Objectivos**

### **1.3.1 Geral**

- ✓ Avaliar o desempenho agronómico das variedades de milho (Matuba, SC 419 e MRI 514) em diferentes níveis de irrigação e adubação.

### **1.3.2 Específicos**

- ✓ Comparar o rendimento do grão de biomassa aérea das variedades da cultura de milho nos diferentes níveis de irrigação e adubação.
- ✓ Analisar o desenvolvimento das variedades de milho em altura da planta e inserção da espiga nos níveis de rega e adubação.
- ✓ Quantificar o peso de 100 sementes e determinar índice de colheita das variedades de milho nos níveis de rega e adubação.
- ✓ Estabelecer a relação entre índice de área foliar (IAF), altura da planta e biomassa aérea na interacção entre rega deficiente (30% ETP) sem adubação e rega recomendada (100% ETP) com adubação.

## **2. Revisão bibliográfica**

### **2.1 Aspectos gerais do milho**

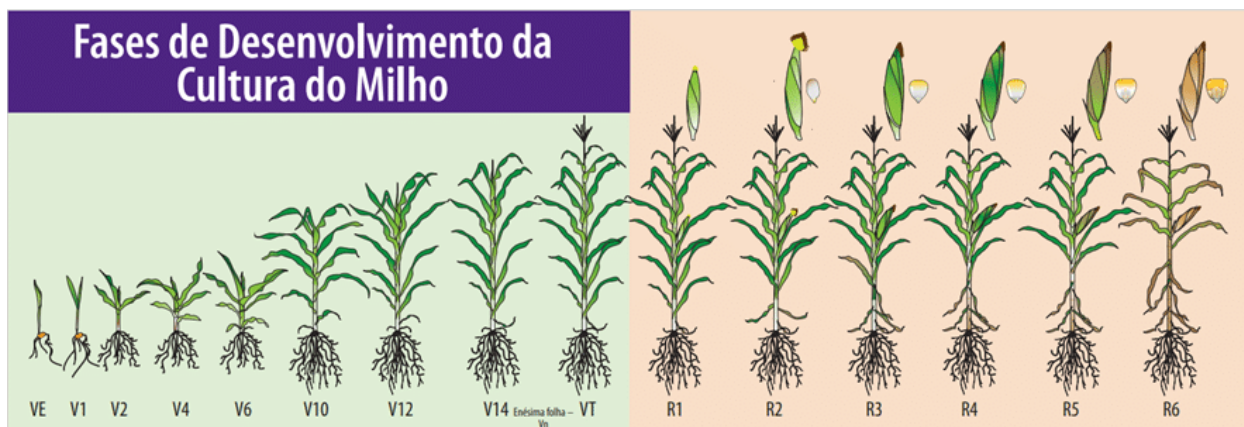
#### **2.1.1 Origem, classificação Taxonômica e importância**

O milho (*Zea mays* L.) tem sua origem na região do México e Guatemala, é uma gramínea anual, pertencente à ordem Gramineae, família Poaceae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. É cultivado há mais de 8000 anos em muitas partes do mundo (Barros e Calado, 2014). O caráter monóico e a sua morfologia característica resultam da supressão, condensação e multiplicação de várias partes da anatomia básica das gramíneas. Os aspectos vegetativos e reprodutivos da planta de milho podem ser modificados através da interação com os factores ambientais que afetam o controle da ontogenia do desenvolvimento. Contudo, o resultado geral da seleção natural e da domesticação foi produzir uma planta anual, robusta e erecta, com um à quatro metros de altura, que é esplendidamente “construída” para a produção de grãos (Magalhães & Souza, 2011).

O milho apresenta flores masculinas e femininas na mesma planta, mas separadas em pontos diferentes: As flores femininas desenvolvem-se no terço médio da planta, nas axilas das folhas e estão agrupadas em espiga. As flores masculinas aparecem na extremidade superior do caule formando a panícula. A polinização faz-se por acção do vento, provocando a queda do pólen da panícula sobre as sedas da espiga, quer as da própria planta, quer as de plantas próximas (até 500 metros). Entretanto o milho é uma cultura basicamente de polinização cruzada. Cada uma das sedas (ou barbas) faz parte de uma flor, na base da qual se irá desenvolver um grão de milho, depois de se dar a polinização (Braz, 2006). O ciclo da cultura do milho varia de 80 a 150 dias, subdivididos em 10 fases fenológicas (Fancelli, 1986). As fases fenológicas da cultura de milho são apresentadas na figura 1.

#### **2.1.2 Estágios fenológicos**

O crescimento e desenvolvimento do milho está dividido em dois estágios: vegetativo e reprodutivo. Durante o estágio vegetativo ocorre o desenvolvimento da planta, onde os estágios são designados numericamente, entre a VE (emergência) e VT (Floração) e durante o estágio reprodutivo ocorre o desenvolvimento da espiga e está repartido em seis estágios. De acordo com Fancelli (2015) a cultura de milho compreende os seguintes estágios fenológicos:



**Figura 1:** Estágios de desenvolvimento.

**Fonte:** (Agroadvance, 2021)

**(i) Estágio VE (germinação/emergência):**

A ocorrência de temperatura e humidade favoráveis propiciam o desencadeamento do processo germinativo, redundando na emissão das estruturas embriônicas contidas na semente, dando início ao crescimento da planta jovem. A radícula é representada pela raiz primária, que se alonga rapidamente, seguida das duas raízes seminais nodais, emitidas a partir do nó cotiledonar. Convém salientar que as raízes seminais apresentam duração efêmera (apenas de 8 a 12 dias), intensa pilosidade e baixa taxa de ramificação, pois sua função está relacionada à absorção de água e oxigênio, com objectivo de activação enzimática e a digestão das substâncias de reservas contidas na semente.

**(ii) Estágio V4 ou 1 (planta com quatro folhas totalmente desdobradas):**

O Estágio V4 coincide, normalmente, com 12 a 20 dias após a emergência da planta, ocorrendo neste período a preparação para o início da diferenciação do meristema apical, cujas estruturas ainda se encontram localizadas abaixo da superfície do solo. O sistema radicular, em desenvolvimento, já evidencia considerável taxa de ramificações diferenciadas, sugerindo que em períodos posteriores a este Estágio operações inadequadas de cultivo e muito próximas às plantas poderão afetar a integridade e distribuição de raízes.

**(iii) Estágio V8 ou 2 (planta apresentando quatro folhas):**

Esse Estágio coincide, normalmente, com o período compreendido entre 30 e 35 dias da emergência, sendo caracterizado pelo crescimento do colmo em diâmetro e comprimento, pela aceleração do processo de formação da inflorescência masculina e pelo início da confirmação do número de fileiras da espiga, além da presença de oito folhas desdobradas – indicativas do estágio. Para o milho, o colmo atua não somente como suporte de folhas e inflorescências, mas como, principalmente, uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis (excedentes de fotoassimilados), que serão utilizados posteriormente na formação dos grãos.

**(iv) Estágio Vt ou 4 (aparecimento do pendão):**

Esta etapa de desenvolvimento da planta, normalmente, coincide com a 8ª à 9ª semana após a emergência, e se caracteriza pelo aparecimento parcial do pendão, ou “flecha”, e pelo crescimento acentuado dos estilos-estigma. Resultados experimentais demonstram que a produção de grãos pode ser drasticamente afetada neste período em função da taxa de desfolha a que a planta for submetida. Assim, a perda de cinco a seis folhas superiores de plantas, próxima ao florescimento (antes ou após), resulta na queda acentuada de rendimento da cultura, principalmente pela redução do número, tamanho e peso (densidade) total de grãos (Fancelli, 1988).

**(v) Estágio R1 ou 5 (florescimento e polinização):**

Durante o período entre a 9ª e a 10ª semana, aproximadamente, após a emergência das plantas, inicia-se o florescimento, cessando as elongações do colmo e internódios. Neste estágio, as espigas expõem seus estilos-estigma, que continuam a crescer até que os mesmos sejam polinizados, dando sequência ao processo de fecundação do óvulo. Os “cabelos” do milho são receptivos aos grãos de pólen, de um a dois dias após sua emissão, podendo permanecer assim por até 14 dias, desde que mantidas as condições favoráveis a sua viabilidade (temperatura entre 16 e 35°C, aliada a umidade relativa do ar superior a 65%). Devido à importância do estilo-estigma para a concretização da produção, recomenda-se, neste estágio, constante vigilância, evitando-se a sua destruição, principalmente pela ocorrência de pragas (lagarta da espiga e outros insetos).

**(vi) Estágio R2 ou 6 (grãos leitosos)**

O Estágio R2, normalmente, ocorre entre 12 e 18 dias após a fecundação, sendo caracterizado pelo acúmulo de açúcares solúveis no endosperma dos grãos, contribuindo, assim, para o incremento

de sua massa (densidade). Tal aumento ocorre devido à translocação dos sintetizados presentes na da disponibilidade de água. Observações experimentais demonstram que de 60% a 65% dos carboidratos transportados para o grão de milho são oriundos das folhas localizadas na porção superior da planta, ao passo que aproximadamente de 25% a 30% representam a contribuição das folhas situadas em seu terço médio, sendo o restante proveniente de suas folhas mais inferiores. Folhas e no colmo para a espiga e grãos em formação, cuja eficiência, além de ser importante para a produção, é extremamente dependente da disponibilidade de água. Observações experimentais demonstram que de 60% a 65% dos carboidratos transportados para o grão de milho são oriundos das folhas localizadas na porção superior da planta, ao passo que aproximadamente de 25% a 30% representam a contribuição das folhas situadas em seu terço médio, sendo o restante proveniente de suas folhas mais inferiores.

**(vii) Estágio R3 ou 7 (grãos pastosos):**

Neste estágio, entre 20 e 32 dias após a emissão dos estilos-estigma, as sementes continuam se desenvolvendo rapidamente, embora suas estruturas embriônicas já se encontrem totalmente diferenciadas. A deposição de amido é bastante acentuada, caracterizando desta feita um período exclusivamente destinado ao ganho de peso, por parte do grão. A ocorrência, neste período, de adversidades climáticas, principalmente estresse hídrico, acarretará maior percentagem de grãos leves e pequenos, comprometendo a produtividade.

**(viii) Estágio R4 ou 8 (grãos farináceos e início da formação de “dentes”):**

Este Estágio coincide, normalmente, com o período compreendido entre o 32º e 40º dia, após o princípio da polinização, sendo caracterizado pelo aparecimento da concavidade na parte superior do grão, comumente designada de “dente” (válido para genótipos dentados). Nesta etapa, os grãos se encontram em fase de transição do estado pastoso para o farináceo, tornando-se cada vez mais endurecidos. No interior das sementes, o embrião e o endosperma continuam em pleno desenvolvimento, acompanhados da completa diferenciação da radícula e das folhas primárias.

**(ix) Estágio R5 ou 9 (grãos “farináceos duros”):**

Neste estágio, entre 45 e 55 dias após a emissão dos estilos-estigma, constata-se acelerada perda de água em toda a planta. Poucas modificações caracterizam esta etapa, pois, além da acentuada queda na taxa de acumulação de substâncias orgânicas e minerais no grão, evidencia-se a

maturação morfológica das sementes, cujas estruturas se encontram plenamente formadas e diferenciadas, porém, ainda não aptas a desempenhar suas funções específicas.

**(x) Estágio R6 ou 10 (maturidade fisiológica ou grãos fisiologicamente maduros):**

Na última etapa de desenvolvimento, entre 50 e 65 dias após o início da polinização, evidencia-se a paralisação total de acúmulo de matéria seca nos grãos, coincidindo com o processo de senescência natural das folhas das plantas, as quais, gradativamente, começam a perder sua coloração verde característica (degradação da clorofila). Este estágio, comumente designado por ponto de maturidade fisiológica, é caracterizado pela manifestação do máximo peso da matéria seca dos grãos e máximo vigor das sementes, sendo facilmente reconhecido pela presença da “camada negra” ou “ponto preto” formado no local de inserção do grão com o sabugo. A partir deste momento, rompe-se o elo de ligação entre a planta-mãe e o fruto, passando o mesmo a apresentar vida independente, necessitando, para tanto, de energia prontamente disponível resultante da queima gradativa de suas reservas (endosperma), através da respiração. Conclui-se, portanto, que o ponto de maturidade fisiológica caracteriza o momento ideal para a colheita, em função da máxima produção (máxima massa de matéria seca) concentrada neste estágio.

### **2.1.3. Algumas variedades de milho produzidas em Moçambique**

Segundo Fato et al, (2011), existem dois tipos principais de variedades do milho: variedade de polinização aberta (VPA) e variedades híbridas. As variedades de polinização aberta são caracterizadas por apresentarem fenótipos semelhantes, com um processo de polinização descontrolado, resultando em polinização livre. As sementes produzidas em uma campanha são viáveis para o uso subsequente (Fato et al., 2011). Em contraste, as variedades híbridas são obtidas por meio de cruzamentos controlados entre linhagens puras ou populações genéticas divergentes. Essa variação genética entre os parentais confere aos híbridos uma vantagem em termos de rendimento e outras características agrônômicas, um fenômeno conhecido como vigor híbrido ou heterose (Fato et al., 2012). Na produção de sementes híbridas, o controle do processo de polinização é rigoroso, impossibilitando a utilização das sementes geradas em uma campanha na próxima (Fato et al., 2011).

Um desafio preponderante associado às variedades híbridas é a limitada disponibilidade de sementes no mercado. Quando disponíveis, o custo das sementes híbridas é relativamente elevado

em comparação com o das sementes de polinização aberta, que demandam menos manejo agronômico. Ademais, a necessidade de reposição anual das sementes híbridas constitui uma barreira significativa para agricultores familiares de baixa renda (Sibale, 2001; CIMMYT, 2004; Fato et al., 2011). Esses factores actuam como desincentivos para pequenos agricultores, que tendem a favorecer as variedades de polinização aberta, mesmo com a desvantagem de rendimento em condições de alta fertilidade do solo. As variedades de milho de polinização aberta demonstram desempenho superior em contextos de baixa fertilidade, sendo recomendadas para pequenos produtores em países em desenvolvimento, onde a qualidade do solo frequentemente é comprometida devido à agricultura intensiva sem rotação.

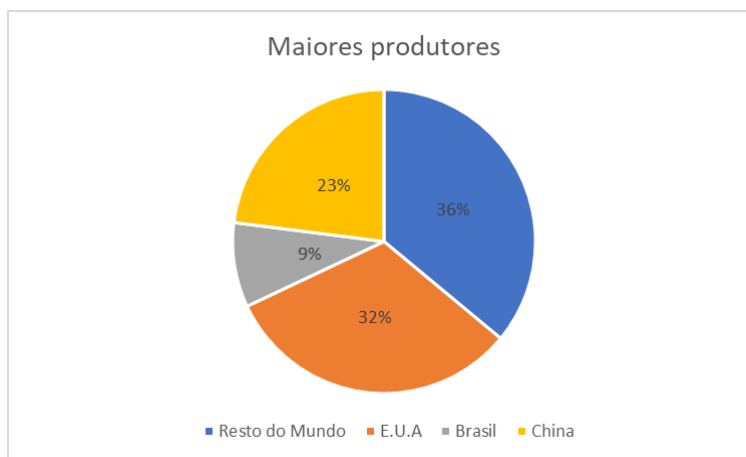
**Tabela 1:** Algumas variedades do milho produzidas em Moçambique.

<b>Algumas variedades produzidas em Moçambique</b>						
<b>Nome comum</b>	<b>Origem</b>	<b>Tipo</b>	<b>Rendimento (Ton/ha)</b>	<b>Maturação (dias)</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Fonte</b>
Molocué	IIAM	Híbrido	4 - 9	120 - 135	Médio	IIAM
SP1	IIAM	Híbrido	4 - 10	126 - 150	Médio a Longo	
WE2101	IIAM	Híbrido	4 - 9	125 - 150	Médio a Longo	
IIAM 1002	IIAM	Híbrido	4 - 10	125 - 140	Médio	
IIAM 1001	IIAM	Híbrido	3 - 11	130 - 150	Médio a Longo	
WE 3128	IIAM	Híbrido	4 - 10	125 - 150	Médio a Longo	
Olipa	IIAM	Híbrido	3 - 8	145 - 150	Médio a Longo	
Hluvukane	IIAM	Híbrido	3 - 7	135 - 145	Médio	
Dimba	IIAM	OPV	2 - 5	90 - 100	Muito curto	
Gema	IIAM	OPV	2 - 6	100 - 110	Muito curto	
ZM 523	IIAM	OPV	3 - 7	110 - 120	Curto	
Godoma	IIAM	OPV	2 - 6	110 - 120	Curto	
Changalane	IIAM	OPV	3 - 5.8	110 - 115	Muito curto	
Tsongano	IIAM	OPV	3 - 8.2	127 - 140	Médio	

Sossuma	IIAM	OPV	3 - 8.5	120 - 150	Médio a Longo	(Nhantumbo et al., 2021)
Oblegon flint	IIAM	OPV	5	150	Longo	
Umbeluzi	IIAM	OPV	4 - 5	130 - 150	Médio a Longo	
Namuli	IIAM	Híbrido	4 - 10	125 - 140	Longo	
Matuba	IIAM	OPV	3 - 4	90 - 120	Curto	
SC 419	Seedco	Híbrido	10	120 - 130	Médio	
MRI 514	Sygenta	Híbrido	15.3	125 - 130	Médio	
PAN 53	PANNAR	Híbrido	10	130 - 140	Médio	
PRIS 601	Klein Karro	Híbrido	3 - 10	120 - 140	Médio	
PAN 12	PANNAR	Híbrido	10	120 - 130	Médio	
PAN 3M-01	PANNAR	Híbrido	4 - 6	110	Muito curto	
MRI 624	Sygenta	Híbrido	12	130 - 140	Médio	
MRI 774	Sygenta	Híbrido	12	140 - 145	Longo	

#### 2.1.4. Produção e produtividade do milho

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, ocupando a terceira posição após o trigo e arroz, em termos de área cultivada, sendo utilizado para o consumo humano e animal, principalmente na indústria de ração animal (Tejeda, 2019), com produção superior a 840 milhões de toneladas. Os Estados Unidos da América lideram a produção desta cultura, seguida da China e Brasil que ocupam, o segundo e o terceiro lugar na produção mundial de milho, com uma produção de 296,6, 171,8 e 55,9 milhões de toneladas, respectivamente, o aumento da produção nos últimos 20 anos foi impactado em grande parte pela substituição de variedades tradicionais por variedades melhoradas (FAOSTAT, 2021).



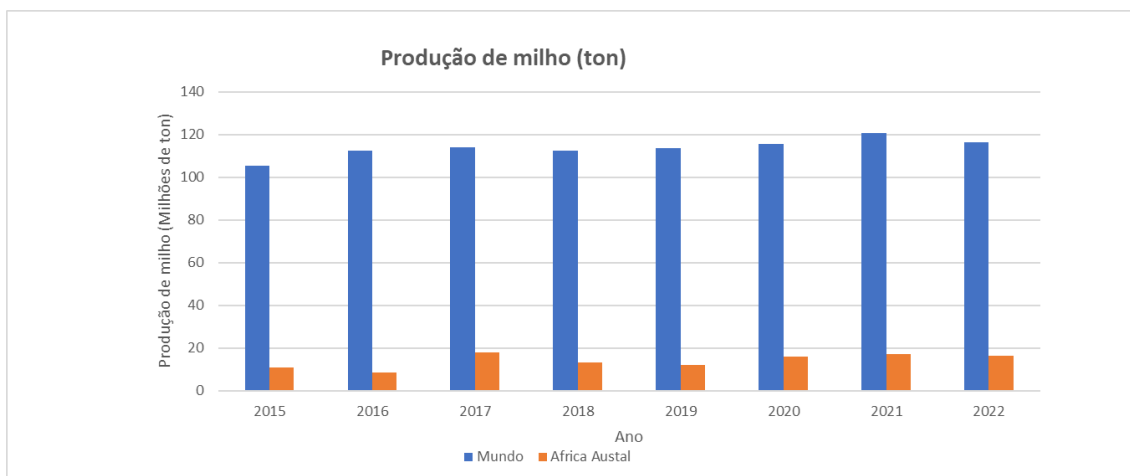
**Figura 2:** Maiores produtores de milho.

**Fonte:** Ceita et al., 2020, adaptado pelo autor

Em Moçambique, o milho ocupa um lugar de destaque (MADER, 2020). Entretanto, apesar do milho ser considerado um dos principais alimentos básicos nas comunidades, a produção e produtividade do milho em Moçambique é ainda muito baixa quando comparada com a média dos países da região da África Subsaariana (Mango et al., 2018).

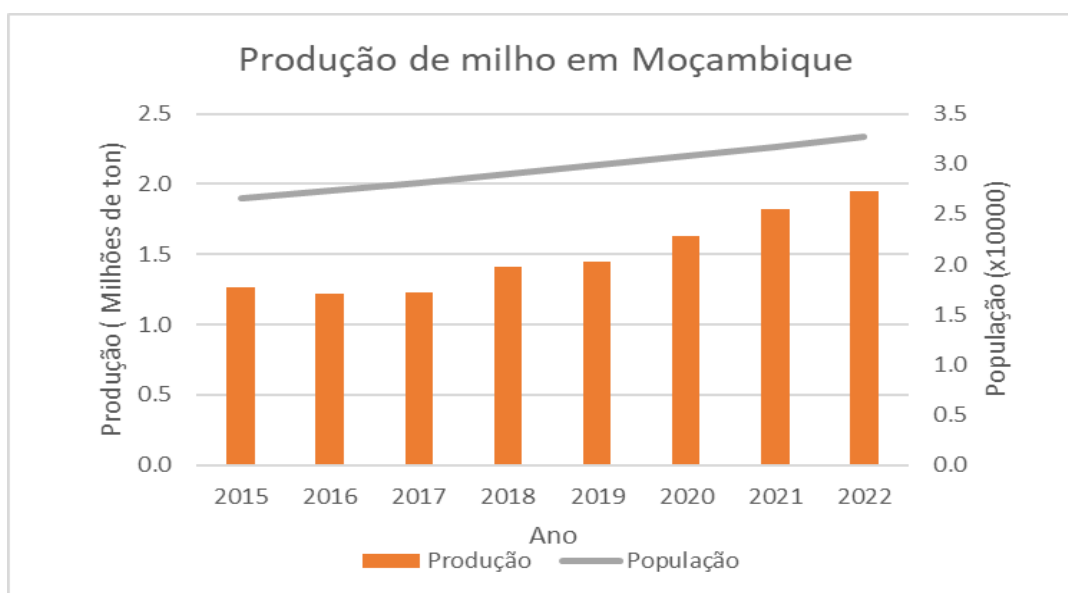
De acordo FAOSTAT (2023), a produção de milho em 2022 foi de 19.5 milhões de toneladas, registrando um incremento de 68.9 milhões de toneladas entre os anos de 2015 à 2022, o que representa um crescimento anual o equivalente a 6,6% por ano. A maior taxa de crescimento neste período o foi verificada nos anos 2020 e 2021, sendo 12.4 e 11.8%. respectivamente.

Neste período a taxa de produção de milho cresceu mais que o dobro da taxa de crescimento populacional (2.9%). Isso indica que em termos agregados nacionais, houve aumento na disponibilidade per capita. Porém, vale considerar que a produção é concentrada nas regiões centro e norte, sendo sul dependente de importações. As Figuras 3 e 4 ilustram a variação da produção no mundo e África austral e no país durante o período de 2015 à 2022.



**Figura 3:** Variação da produção de Milho (2015 – 2022).

**Fonte:** FAOSTAT (2023). Adaptado pelo autor.

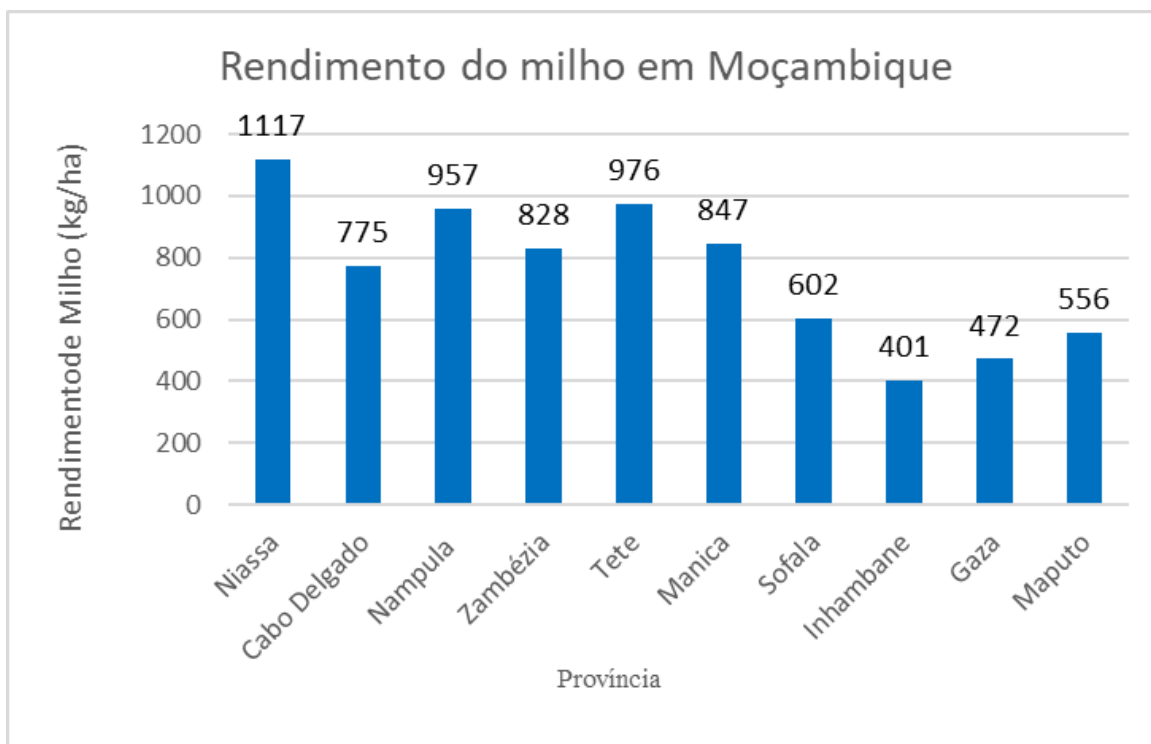


**Figura 4:** Variação da produção de milho e população nacional (2015 – 2022).

**Fonte:** FAOSTAT (2023). Adaptado pelo autor.

A variação do rendimento do milho ao longo do país tem sido observada na perspectiva de zonas agro-ecológicas que são divididas em função das suas características, com enfoque para a precipitação, onde as zonas agro ecológicas (R7, R8 e R9) localizadas nas regiões centro e norte do país apresentam condições suficientemente ótimas para alcançar bons níveis de produção em regime de sequeiro, devido a maior frequência de precipitação, permitindo rendimentos médios de

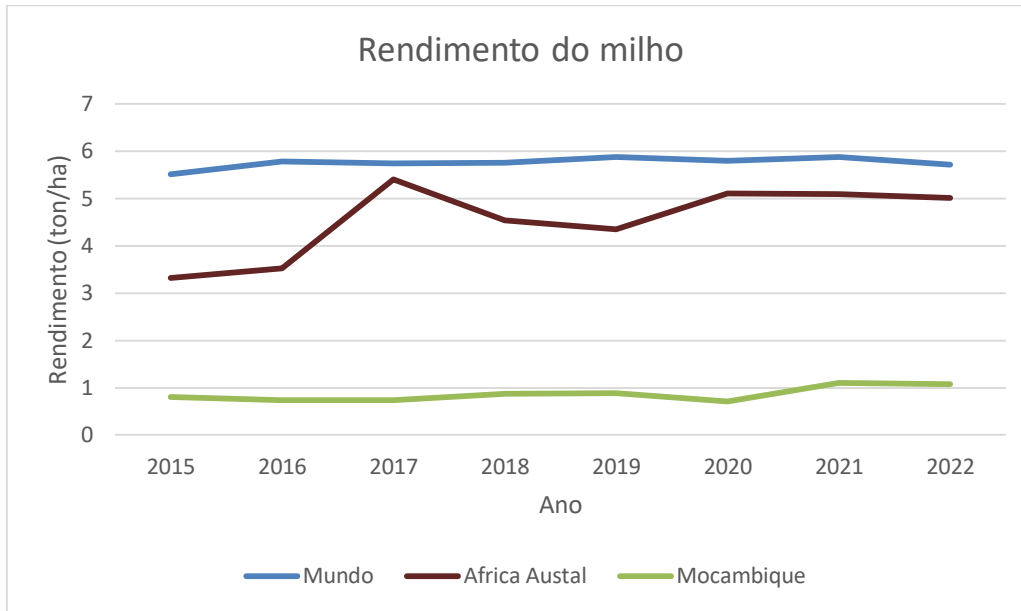
734 e 945 kg/ha, respectivamente. Enquanto isso as regiões agro-ecológicas da zona sul do país (R1, R2 e R3) apresentam baixos níveis de produção a sequeiro, com rendimentos na ordem de 400 kg/ha, devido a predominância de solos arenosos pobres e um regime de precipitação irregular, o que limita a produção em particular para a cultura de milho (Mudema et al., 2012; Cunguara, 2011). A Figura 5 mostra a variação do rendimento ao longo das províncias de Moçambique.



**Figura 5:** Análise do rendimento do milho no território nacional.

**Fonte:** MADER, IAI 2020. Adaptado pelo autor.

Segundo Marcos et al (2023) o rendimento potencial do milho gira em torno de 2 a 5 ton/ha em cultivo de sequeiro e 6 a 11 ton/ha em cultivo irrigado. O problema da produtividade do milho e outras culturas está relacionado com o manejo que no caso de Moçambique caracteriza-se pelo baixo uso de insumos e tecnologias agrícolas. A Figura 6 mostra a variação do rendimento durante o período de 2015 à 2022 em Moçambique, incluindo a África Austral e o mundo em geral.



**Figura 6:** Variação do rendimento do milho (2015 -2022).

**Fonte:** FAOSTAT (2023). Adaptado pelo autor.

### 2.1.5. Necessidades hídricas de milho

A planta absorve água do solo para atender às suas necessidades fisiológicas e, com isto, suprir a sua necessidade em nutrientes, que são transportados junto com a água, sob a forma de fluxo de massa. Do total de água absorvida pela planta, uma quantidade bem reduzida (cerca de 1%) é retida pela mesma. Embora possa-se pensar que há desperdício, na verdade, isso não ocorre, pois é pelo processo da transpiração (perda de calor latente) que os vegetais controlam a sua temperatura (Magalhães e Durães, 2006). O milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida por uma plantação de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm (Magalhães e Durães, 2006). Albuquerque e Resende (2010) também sustentam que para produção de grãos secos, o milho consome de 400 a 700 mm de água em seu ciclo completo, dependendo das condições climáticas da região.

O principal objectivo da rega é fornecer às plantas a quantidade de água necessária para contrabalançar as perdas de água por evaporação directa do solo e por transpiração das plantas. A quantidade de água a ser aplicada é normalmente determinada pela necessidade hídrica da cultura, podendo ser estimada através da evapotranspiração (Lopes, 2010). A partir da equação um (1).

$$ETc = Eto * Kc \quad (1)$$

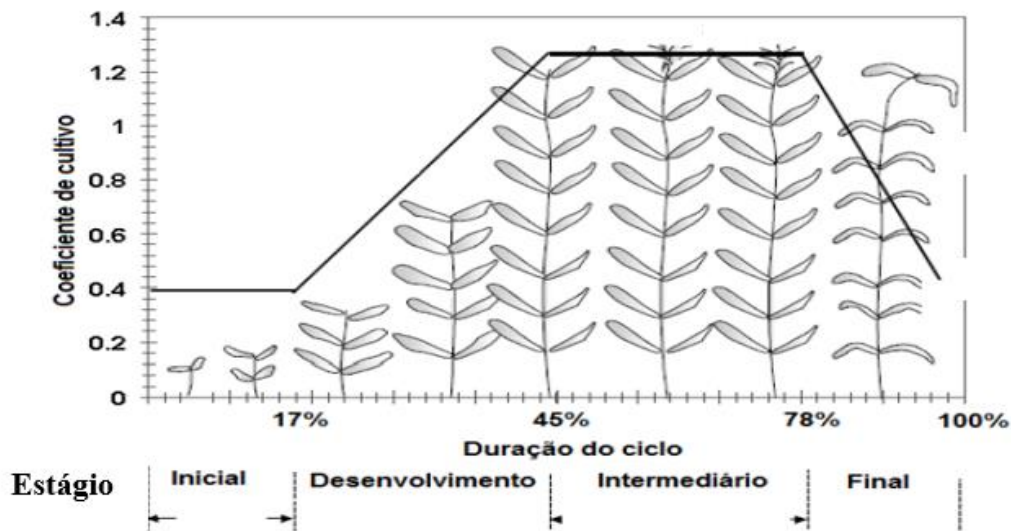
Onde:

$Etc$  = Evapotranspiração da cultura (mm/dia)

$Eto$  = Evapotranspiração potencial (mm/dia)

$Kc$  = Coeficiente da cultura

Segundo Allen et al. (1998) o coeficiente cultural ( $Kc$ ) é um parâmetro que mede a necessidade de água das culturas em comparação com a relva. Culturas que exigem menos água do que a relva terão um  $Kc$  inferior a 1, enquanto aquelas que necessitam de mais água terão um  $Kc$  superior a 1. Inicialmente, quando as plantas ainda não cobrem completamente o solo, o  $Kc$  é baixo. Com o crescimento das plantas e a cobertura de mais de  $\frac{3}{4}$  da superfície do solo, o  $Kc$  aumenta, atingindo seu valor máximo geralmente durante a floração. Após esse período, o  $Kc$  permanece em seu valor máximo na fase inicial da formação dos frutos, mas começa a diminuir rapidamente conforme a cultura entra em senescência.



**Figura 7:** Coeficiente de cultivo ( $Kc$ ) ao longo do desenvolvimento do milho.

**Fonte:** Allen et al. (1998), adaptado pelo autor.

A Figura 7 mostra o coeficiente cultural ( $Kc$ ) do milho em diferentes fases de desenvolvimento. Observa-se que o  $Kc$  é inferior a 1 nos estágios inicial e final (estabelecimento e declínio, respectivamente), pois a necessidade de água é menor nesses períodos. No terceiro estágio, conhecido como fase estacionária, o  $Kc$  é superior a 1, refletindo a maior demanda de água nesse estágio.

### 2.1.6. Efeito do estresse hídrico no milho

A produtividade de uma cultura está relacionada 60% a factores genéticos e 40% a factores ambientais, podendo-se destacar a disponibilidade hídrica e a fertilidade do solo (Resende et al., 2003). O rendimento do milho é resultante da combinação entre o potencial genético da semente com as condições edafo-climáticas do local de sementeira e do manejo adoptado no cultivo (BÁRBARO et al., 2008). Na ausência de precipitação, a irrigação pode ser necessária, podendo ser parcial ou total, dependendo da região. A disponibilidade de água no solo é crucial para que as plantas completem seu ciclo e alcancem seu potencial produtivo (Ferreira, 2010). A falta de água, dependendo de sua intensidade e da fase do ciclo da cultura, pode reduzir significativamente o rendimento da mesma. A planta enfrenta déficit hídrico quando a água no solo não é suficiente para ser transportada pelas raízes para suprir a demanda de transpiração (Allen et al., 1998).

Dois dias de estresse hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%, quatro a oito dias diminuem em mais de **50%**. O efeito da falta de água, associado à produção de grãos, é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento da planta:

- (a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado;
- (b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; nessa fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico;
- (c) enchimento de grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese, desde que o estresse vai resultar na menor produção de carboidratos, o que implicaria menor volume de matéria seca nos grãos.

Portanto, a importância da água está relacionada também com a fotossíntese, uma vez que o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas implica menor disponibilidade de CO<sub>2</sub> para fotossíntese e limitação dos processos de alongação celular. A falta de água é sempre acompanhada por interferência nos processos de síntese de RNA e proteína, caracterizada por um aumento aparente na quantidade de aminoácidos livres, como a prolina. A manutenção da pressão de turgescência celular, através do acúmulo de solutos (ajustamento osmótico), é um mecanismo de adaptação das plantas para seu crescimento ou sobrevivência em períodos de estresse de água.

Apesar do alto requerimento de água pela planta de milho, ela é eficiente no seu uso para conversão de matéria seca (Magalhães e Durães, 2006).

Bastos e Calado (2014) também sustentam que, quando a disponibilidade de água é baixa, devido a pouca humidade no solo ou elevada transpiração durante as horas mais quentes do dia, especialmente em verões de alta temperatura, a planta desenvolve mecanismos fisiológicos para minimizar a perda de água. Esses mecanismos incluem o fechamento dos estomas e a alteração do ângulo das folhas, o que reduz a incidência de raios solares. Com os estomas fechados, a planta interrompe a transpiração, mas também impede a entrada de dióxido de carbono nas células. Como resultado, a fotossíntese é afetada e, conseqüentemente, a produção de biomassa é reduzida.

Estudos feitos por Almeida (2016), com objectivo de avaliar diferentes laminas de irrigação durante algumas fases específicas da cultura de milho onde os tratamentos consistiam na aplicação de 100, 50 e 30% da evapotranspiração da cultura, aplicados em quatro estágios da cultura, observou que a produtividade da cultura decresceu a medida que a severidade do déficit hídrico aumentava, ou seja, houve queda de rendimento de 69% e 40% nos tratamentos com aplicação de água 30% e 50% da evapotranspiração da cultura respectivamente. Observou também maior redução de rendimento na fase do pendoamento (32%) na fase da floração (23%) devido ao facto desses abrangerem as fases do ciclo da cultura que são as mais críticas ao déficit hídrico.

#### **2.1.7. Adubação na cultura de milho**

Nos últimos anos, a cultura do milho, vem passando por importantes mudanças tecnológica, resultando em aumentos significativos da produtividade e produção. Entre essas tecnologias destaca-se a conscientização dos produtores da necessidade da melhoria na qualidade dos solos, visando uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos está geralmente relacionada ao manejo adequado, o qual inclui entre outras práticas, a rotação de culturas, plantio directo, manejo da fertilidade através da calagem, gessagem e adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos e/ou orgânicos (Coelho, 2006).

A adubação é o procedimento destinado a fornecer nutrientes essenciais para o adequado desenvolvimento das plantas, atendendo às suas necessidades nutricionais. Essas necessidades são definidas pela quantidade de nutrientes que as plantas extraem ao longo de seu ciclo de crescimento (Tupiassú, 2008).

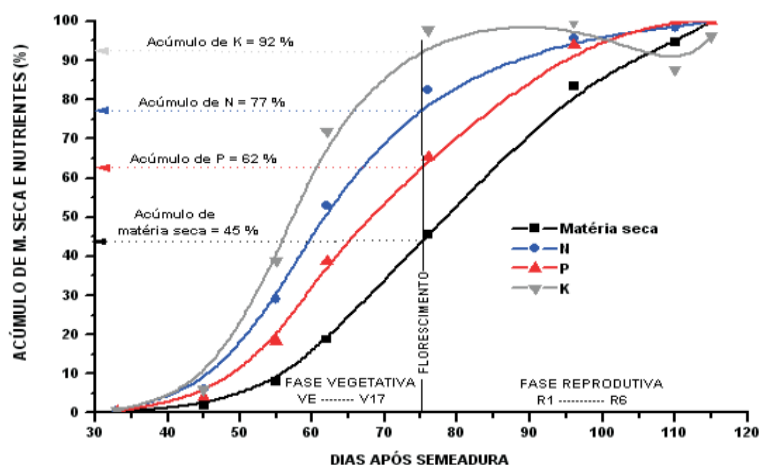
Dados médios dos ensaios conduzidos na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas- MG, dão uma idéia da extração de nutrientes pelo milho, cultivado para produção de grãos. Observa-se que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento na produtividade, e que a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo (Coelho, 2006).

**Tabela 2:** Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividades.

Tipo de exploração	Produtividade t/ha	Nutrientes extraídos <sup>II</sup>				
		N	P	K	Ca	Mg
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	17	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	33

Fonte: Karlen et al. (1987).

O milho apresenta períodos diferentes de intensa absorção, com o primeiro ocorrendo durante a fase de desenvolvimento vegetativo, V12 a V18 folhas, quando o número potencial de grãos está sendo definido; e, o segundo, durante a fase reprodutiva ou formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido (Figura 8). Isto enfatiza que para altas produções, mínimas condições de estresses devem ocorrer durante todos os estádios de desenvolvimento da planta (Karlen et al. 1987).



**Figura 8:** Acúmulo de matéria seca, nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea de plantas de milho.

**Fonte:** Karlen et al. (1987).

O milho é uma cultura que remove grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se deseja produtividades elevadas. Resultados de ensaios conduzidos no Brasil, sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo, mostram resposta generalizada do milho à adubação nitrogenada. Em geral, 70 a 90 % dos ensaios de adubação com milho realizados a campo no Brasil, apresentaram respostas à aplicação de nitrogênio (Coelho, 2006).

A absorção de potássio apresenta um padrão diferente em relação ao nitrogênio e ao fósforo (Figura 8), com a máxima absorção ocorrendo no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, com taxa de absorção superior ao de nitrogênio e fósforo, sugerindo maior necessidade de potássio na fase inicial como um elemento de “arranque”. Para o nitrogênio e o fósforo, o milho apresenta dois períodos de máxima absorção durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação da espiga, e menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (Karlen et al. (1987).

Na tomada de decisão sobre a necessidade de adubação nitrogenada alguns factores devem ser considerados, tais como: condições edafo-climáticas, sistema de cultivo (plantio directo e convencional), época de sementeira, responsividade do material genético, rotação de culturas, época e modo de aplicação, fontes de nitrogênio, aspectos econômicos e operacional. Isso enfatiza a regra de que as recomendações de nitrogênio devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas (Coelho, 2006).

## **2.2 Rega por aspersão em linha**

De acordo com Albuquerque (2006), o sistema de aspersão em linha (Line Source Sprinkler system) é um modelo experimental onde uma linha de irrigação é composta por aspersores espaçados, que criam um gradiente decrescente da lâmina de água aplicada conforme a distância perpendicular à linha de aspersores. Isso resulta em uma variação mínima na quantidade de água fornecida ao longo da linha. Este sistema é amplamente utilizado em estudos experimentais para analisar a influência de diferentes parâmetros de tratamento e irrigação na produtividade e em

outras características das plantas. Seus benefícios incluem o uso eficiente do espaço e a capacidade de demonstrar visualmente os efeitos da irrigação sobre vários parâmetros das plantas.

O sistema de irrigação por aspersão em linha oferece um meio conveniente de obter dados da função de produção agrícola, pois permite mais variáveis de irrigação do que os sistemas tradicionais. Além de ser econômico e único para instalar e operar, este sistema requer uma área de teste e abastecimento de água relativamente pequena (J. Barragan, I. Recasens, 1988).

### **2.3 Índice de área foliar (IAF)**

A arquitetura do dossel é caracterizada, principalmente, pelo índice de área foliar (IAF), definido como o total de área foliar por área de solo ocupada pela planta ou cultura ( $\text{cm}^2$  folha. $\text{cm}^2$  de solo), o qual é resultado da disposição espacial das folhas, como consequência da distribuição espacial das plantas (San pietro et al., 1967; Pommel et al., 2002). A importância da determinação da área foliar das culturas agrícolas é explicada pela estreita correlação entre esta e as taxas fotossintéticas e transpiração das plantas, uma vez que reflete a capacidade da planta em interceptar as radiações e efetuar trocas gasosas com o ambiente, constituindo-se assim em importante indicativo da produtividade das culturas. O índice de área foliar, por expressar a proporção de cobertura do solo, implica em importante factor a ser considerado para a definição das práticas de manejo (Fancelli 1988).

Considerando a relação entre IAF e produção fotossintética, a distribuição espacial das plantas na cultura deve maximizar o IAF. Entretanto, estudos demonstram que a produção fotossintética não aumenta linearmente com o IAF, sendo limitada pelo sombreamento das folhas superiores sobre as inferiores, o qual, em geral, é mínimo durante a fase inicial de crescimento das culturas. Em consequência do auto-sombreamento, a radiação suficiente para saturar a fotossíntese das folhas superiores não é suficiente para saturar a fotossíntese das culturas. No caso do milho, o IAF ótimo, quando considerada a produção de grãos, está entre 4 e 7, sendo 6 o valor mais frequente (San Pietro et al., 1967; Pommel et al., 2002).

Sangoi et al. (2001 e 2002), constataram que a redução da área foliar, seja por danos mecânicos ou pelo ataque de pragas e/ou doenças, sempre resulta em perdas no crescimento e produção do milho. Dentre os principais factores que concorrem para promover alterações na área foliar das plantas, tem-se:

- a. as características genéticas;
- b. disponibilidade de água luz e nutrientes;
- c. competição com plantas invasoras;
- d. espaçamentos;
- e. danos mecânicos; e
- f. a incidência de pragas e doenças.

Segundo Massinga et al. (2001), a área foliar do milho é inversamente proporcional à infestação de plantas daninhas. Daughtry et al. (2000) encontraram boa correlação entre a área foliar e a concentração de clorofila nas folhas de milho, demonstrando sua relação com a absorção de luz e nutrientes. Basanta et al. (2000) propuseram um modelo para avaliar o volume de calda de produtos químicos a serem aplicados na cultura do milho em função do índice de área foliar da cultura. A área foliar tem sido também usada como critério para a seleção de materiais genéticos. Modarres et al. (1997) reportam a seleção de cultivares de milho com maior rapidez de crescimento em área foliar e Stewart et al. (1997) a seleção de cultivares com maior número de folhas acima da espiga. A área foliar é também utilizada no modelo de evapotranspiração de Penman-Monteith e importante índice a ser considerado para aplicação do modelo CERES-MAIZE.



O clima de Moamba é do tipo BS (clima seco de estepe) de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual variando entre 23° e 24°C e uma pluviosidade anual de 580 a 590 mm. Na área próxima a Ressano Garcia, há o clima BSW, de estepe com inverno seco, com temperatura média anual semelhante e pluviosidade inferior. O distrito tem duas estações, uma quente de temperaturas mais elevadas e de pluviosidade acentuada que vai de Outubro a Março e, outra, fresca que se estende de Abril a Setembro (MAE, 2005).

Em geral, na região da Moamba, os solos predominantes são de origem aluvionar e basáltica, apresentando textura média e profundidade variável de marginal a boa. Nos vales do Incomati e do Sabiè, os solos são principalmente aluvionares, com fertilidade que varia de média a alta e adequados para a agricultura (MAE, 2005). Os tipos de solos mais frequentes neste distrito incluem solos vermelhos, pedocálicos, pardos, hidromórficos e aluvionares (Gouveia e Azevedo, 1949).

### 3.2 Desenho experimental e manejo do ensaio

O ensaio foi realizado numa área de 2.9516m<sup>2</sup> (81x36)m, utilizando o delineamento de blocos completos casualizados (DBCC) em um arranjo fatorial com três (3) factores em três (3) repetições: Adubação, Irrigação e variedade. O factor rega e adubação com 2 níveis e 3 variedades (3x2x2): Adubação (100% adubado e sem adubação), Irrigação (100% da ETp – recomendado e déficit hídrico – aproximadamente 30% ETp) e variedade (Matuba, SC 419 e MRI 514). O experimento foi distribuído em 3 blocos, compreendendo uma área de (27x36) m com 27 parcelas de 13.5 m<sup>2</sup> (6x2.5)m.

A Tabela 3 apresenta os detalhes sobre os tratamentos (níveis do factor de adubação, água e variedade).

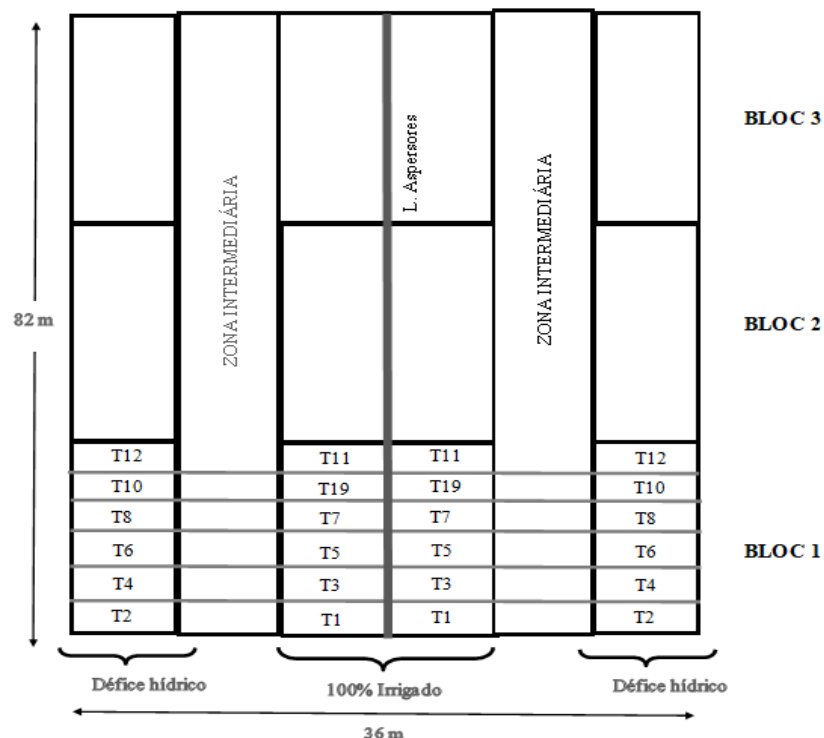
**Tabela 3:** Descrição dos tratamentos.

<b>Tratamento</b>	<b>Adubação</b>	<b>Irrigação</b>	<b>Variedade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Símbolo</b>
1	1	1	Matuba	Irrigação óptima , Adubação óptima e Variedade Matuba	A1R1V 1
2	1	0	Matuba	sem irrigação, Adubação óptima e Variedade Matuba	A1R0V 1

3	1	1	SC 419	Irrigação óptima , Adubação óptima e Variedade SC 419	A1R1V 2
4	1	0	SC 419	sem irrigação, Adubação óptima e Variedade SC 419	A1R0V 2
5	1	1	MR1 514	Irrigação óptima , Adubação óptima e Variedade MRI 514	A1R1V 3
6	1	0	MR1 515	sem irrigação, Adubação óptima e Variedade MRI 514	A1R0V 3
7	0	1	Matuba	Irrigação óptima , sem Adubação e Variedade Matuba	A0R1V 1
8	0	0	Matuba	Sem Irrigação, sem Adubação e Variedade Matuba	A0R0V 1
9	0	1	SC 419	Irrigação óptima , sem Adubação e Variedade SC 419	A0R1V 2
10	0	0	SC 419	Sem Irrigação, sem Adubação e Variedade SC 419	A0R0V 2
11	0	1	MR1 514	Irrigação óptima , sem Adubação e Variedade MRI 514	A0R1V 3
12	0	0	MR1 515	Sem Irrigação, sem Adubação e Variedade MRI 514	A0R0V 3

Onde: 1 – 100% da ETp ou adubação 0 – Défice hídrica (30% ETp) ou sem adubação

A Figura 10 apresenta os detalhes sobre o arranjo dos tratamentos no campo experimental, a zona intermediária encontra-se entre a área 100% irrigada e déficit hídrico, que não fez parte do experimento.



**Figura 10:** Esquema dos tratamentos no ensaio.

O ensaio iniciou no dia 18 de Junho, com o delineamento das parcelas. O preparo do solo consistiu em numa lavoura profunda mecanizada utilizando uma charrua de discos, a mais ou menos 25 cm de profundidade, 30 dias antes da sementeira, precedido de uma gradagem superficial 3 dias antes da sementeira.

A sementeira ocorreu em 27 de junho, com as sementes lançadas a uma profundidade de 8 cm. As plantas foram espaçadas com 30 cm entre elas e 75 cm entre linhas (0,75 m x 0,3 m), e para minimizar falhas, foram colocadas duas (2) sementes por cova. A emergência deu-se 11 dias após a sementeira para as variedades MRI 514 e SC 414, a variedade Matuba não atingiu 50% de germinação a esta data.

A retanchar deu-se no dia 17 de Julho, 20 dias depois da sementeira. Para a variedade Matuba optou-se por usar quatro sementes por covacho devido ao seu aparente baixo poder germinativo, não tendo atingido os 50% de sementes germinados. Para as restantes variedades manteve-se a mesma quantidade usada na sementeira, duas sementes por covacho.

O desbaste foi feito no dia 29 de Julho, 30 dias após a sementeira. Devido a falhas de germinação da variedade Matuba o seu desbaste foi feito no dia 17 de Agosto, 30 dias depois da retanchar. O

processo foi realizado manualmente consistindo na remoção cuidadosa das plântulas menos vigorosas, doente ou com alguma deformação. A remoção foi feita de forma a tirar ou perturbar todo sistema radicular da planta a fim de se evitar que a planta voltasse a emergir

Para o controle de pragas usou-se o controle químico, onde efetuou-se três (3) aplicações de pesticidas mediante a identificação da presença de praga graças ao constante monitoramento feito no campo. A primeira aplicação foi feita no dia 31 de Julho, onde usou-se a Cyperimetrina a uma dose de 15 ml por 15 l de água, tendo sido observado resultado não satisfatório seguiu-se com a aplicação do Belt no dia 16 de Agosto, a uma dose de 4 ml por 15l de água e por fim aplicou-se a karate no dia 25 de Agosto, a uma dose de por 15 l de água. Para cada aplicação foram necessários 90 litros de calda.

O controle de doenças consistiu na identificação e eliminação contínua de indivíduos com sintomas ou sinais de doença a fim de se evitar alastramento da doença pelo campo experimental. A doença identificada durante ensaio foi o listrado de milho. Para o controle de infestantes realizou-se duas sachas, sendo a primeira no dia 14 de Agosto, seis (6) semanas após a sementeira, e a última no dia 16 de Setembro, 10 semanas depois da sementeira.

Dois estratégias de adubação foram implementadas: adubação de fundo e adubação de cobertura. A adubação de fundo foi realizada na data de sementeira, consistindo em uma aplicação localizada de NPK (12:24:12). As dosagens foram: 5 g por planta no nível recomendado e nenhuma aplicação no nível "sem adubação". A adubação de cobertura foi aplicada com nitrogênio (46%) no estágio VT, 54 dias após a emergência. Assim como na adubação de fundo, a aplicação foi localizada, utilizando 2,5 g por planta no nível recomendado e sem adubação no nível "sem adubação".

Ao final da aplicação, os resultados obtidos foram: 260 kg/ha de NPK (12:24:12) na adubação de fundo e 55 kg/ha de nitrogênio (46%) na adubação de cobertura nos níveis recomendado, respectivamente..

O sistema de rega consistiu na instalação de uma linha de aspersão composta por 6 aspersores no centro da área experimental, dispostos com um espaçamento de 15 metros entre eles. Esta configuração assegurou um gradiente decrescente na distribuição da água de irrigação na direção perpendicular à linha de aspersão. Para garantir uma distribuição uniforme ao longo de todo o ciclo da cultura, os aspersores foram montados a uma altura de 3 metros.

A coleta dos dados da precipitação dos aspersores envolveu a instalação de coletores com 52 mm ao longo da área lateral dos aspersores, com espaçamento de 1,6 metros entre os coletores, estendendo-se até 18 metros, que corresponde ao limite do campo a partir da linha de aspersão. Na linha principal, os coletores foram posicionados a cada 13,5 metros. No total, foram utilizados 66 coletores. O teste foi conduzido durante 3 horas, com 2 repetições em cada lateral da linha de aspersão, totalizando 4 repetições.

### 3.3 Teste e distribuição de água no ensaio

A determinação da distribuição de água foi realizada com base na média das leituras de intensidade de precipitação, em coletores equidistantes em relação a linha principal dos aspersores, através da seguinte fórmula:

$$i = \frac{V}{A.t} \quad (2)$$

Onde:

*i* - Intensidade de precipitação (mm/horas)

*V* - Volume médio (l)

*A* - Área receptora do coletor (m<sup>2</sup>)

*t* - Tempo de rega (horas)

A determinação das faixas de cada nível de rega foi realizada com base na análise do gradiente de distribuição de água. Para obter três níveis distintos de água, foram estabelecidas três faixas de 6 metros de comprimento cada, com diferentes intensidades de precipitação, conforme o perfil de distribuição de água. Os níveis foram definidos de acordo com as faixas de taxa de aplicação escolhidas, representando as condições ótimas, intermediárias e deficientes.

Para avaliar a uniformidade da irrigação no sistema, foi utilizado o coeficiente de Christiansen, que é o principal parâmetro usado para medir a uniformidade na aplicação de água (César Silva e Cícero Silva, 2005). A equação a seguir calcula o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), que avalia a eficiência do sistema de irrigação. A classificação do CUC está descrito na Tabela 4.

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n - \bar{x}} \right) \quad (3)$$

Onde:

*CUC*- Coeficiente de uniformidade de Christiansen (em %)

*X<sub>i</sub>*- Precipitação obtida no coletor de ordem *i*, em ml

$\bar{x}$ - Precipitação média dos coletores

*n*- Número de amostras colectadas.

**Tabela 4:** Classificação do desempenho dos sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen.

Classe	CUC (%)
Excelente	90
Bom	81 - 90
Razoável	71 - 80
Mau	60 - 70
Inaceitável	<60

Para a determinação da lâmina total da água aplicada em todo ciclo de desenvolvimento do milho multiplicou-se o tempo de rega com a intensidade de precipitação na faixa de rega e fez-se o somatório das lâminas de água, incluindo a quantidade de precipitação pluvial ocorrida durante o desenvolvimento da cultura.

$$LTA = \sum t \times i + P \quad (4)$$

Onde:

*LTA* - Lâmina total de água

*t* - Tempo de rega

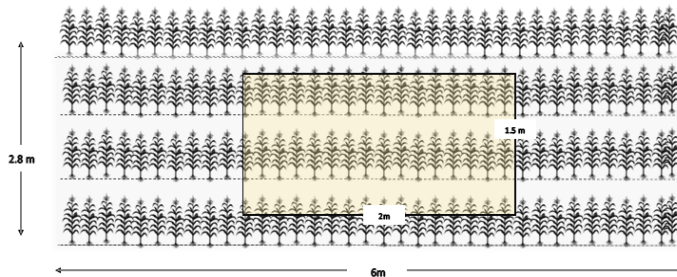
*i* - Intensidade de precipitação

*P* – precipitação

### 3.4 Determinação do rendimento da cultura de milho

A avaliação do rendimento da cultura de milho baseou-se no peso do grão e biomassa aérea. Foi definida a área útil considerando cada a faixa de irrigação. A área útil consistiu em duas linhas

centrais com 2 metros de comprimento e uma largura de 1.5 metro, deixando 2 m ao longo do comprimento (6 m) no princípio e no final da linha tendo a área de 3m<sup>2</sup> m com cerca de 13 plantas no máximo. conforme mostra a Figura 11.



**Figura 11:** Representação da área útil.

Para a avaliação da biomassa aérea total, todas as plantas correspondentes a área útil de cada parcela foram contadas, de seguida, fez-se um corte rente ao solo nas plantas de milho retirando a parte aérea da planta, introduzindo-as em sacos de 50 kg devidamente etiquetados e submetidas a um processo de secagem até atingirem peso constante, por fim, procedeu-se com a pesagem das amostras com recurso a balanças eletrónicas. A determinação da biomassa da parte aérea foi realizada após as plantas alcançarem o estágio de maturação fisiológica.

Para a determinação do rendimento da biomassa da parte aérea fez-se a sua razão com a área útil, como ilustra a equação 6.

Para a determinação do peso do grão, colheu-se na área útil de cada parcela, de seguida introduziu-se as espigas em sacos de papel devidamente etiquetados e deixou-se secar até atingir a humidade desejada (15% de humidade), de seguida foi realizada a debulha e pesagem do grão com recurso a uma balança de precisão. A humidade dos grãos foi quantificada utilizando um medidor de humidade. Por fim determinou-se o rendimento do grão pela razão do peso do grão com a área útil, de acordo com a equação:

$$\mathbf{Rg} = \frac{10000 * Y}{X} \quad (6)$$

Onde:

Rg – Rendimento de grão de milho ou biomassa aérea (ton ha<sup>-1</sup>);

(10000) m<sup>2</sup> – Factor de conversão da área correspondente a 1 hectare;

Y – Peso do grão na área útil (ton);

X – Área útil (m<sup>2</sup>).

### **3.5 Avaliação do desenvolvimento vegetativo e componentes de rendimento.**

A avaliação do desenvolvimento vegetativo baseou-se na altura da planta e inserção da espiga, e para os componentes de rendimento das variedades da cultura de milho foi com base no peso de 100 sementes e índice de colheita.

A altura de inserção da espiga foi medida após a maturação fisiológica da cultura em todas parcelas do ensaio com recurso a uma régua de madeira com 3 m de comprimento. Foram feitas 3 repetições (duas nas extremidades e uma no centro) em cada tratamento e no final considerou-se a média aritmética. A área de medição está representada na Figura 14.

Para a determinação do peso de 100 sementes, foi realizada a colheita do grão seguido de embalagem e devida etiquetagem, por fim procedeu-se com a secagem (até atingir 15% de humidade) e debulha. Após esses procedimentos, fez-se a contagem de 100 grãos utilizando seleção aleatória. Os grãos foram pesados em uma balança de precisão, considerando-se o peso médio de três (3) repetições do procedimento.

O índice de colheita da cultura de milho foi calculado após a determinação do rendimento da biomassa área e do grão. Assim, índice de colheita foi determinado pela razão entre rendimento do grão do milho (ton.ha<sup>-1</sup>) e o rendimento da biomassa seca total (ton.ha<sup>-1</sup>), segundo a fórmula proposta por Ben et al. (2016):

$$IC = \frac{Rg}{Rb} * 100 \quad (7)$$

Onde: IC – Índice de colheita (%);

Rg – Rendimento do grão de milho (ton.ha<sup>-1</sup>);

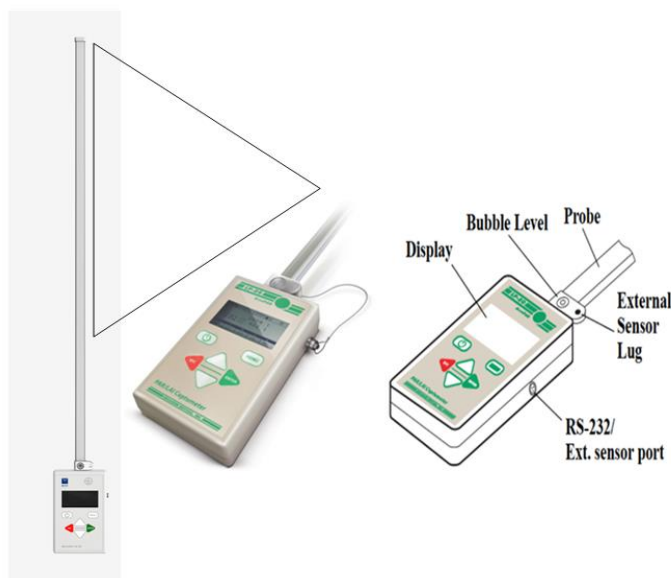
Rb – Rendimento da biomassa aérea (ton.ha<sup>-1</sup>).

### **3.6 Avaliação da correlação entre índice de área foliar (IAF) e outras variáveis fenológicas e o seu comportamento ao longo do ciclo.**

Para a avaliação da correlação entre variáveis fenológicas e suas tendências, fez-se as medições contínuas do índice de área foliar, altura da planta e biomassa aérea a partir da oitava semana DDS

até a maturação fisiológica. As medições foram feitas num intervalo de 7 dias para o IAF e altura da planta, no mesmo dia.

A cada 7 dias também foi realizada a medição do índice de área foliar em todas as parcelas da área experimental, com o intuito de monitorar o desenvolvimento da copa das plantas em diferentes tratamentos e estabelecer correlações com outras variáveis. A medição foi efetuada por meio do sepiómetro LP-80 ACCUPAR (ilustrado na Figura 12) nas horas de pico do sol (12 até 14 horas) para obter o melhor desempenho do instrumento. Ao final do período, foi considerada a média das três leituras obtidas em cada parcela. O esquema das leituras está representado na Figura 14.



**Figura 12:** LP-80 ACCUPAR

A medição da biomassa aérea acumulada deu-se a cada 15 dias, com o intuito de monitorar o acúmulo da matéria seca nas plantas em todos os tratamentos e estabelecer correlações com o índice de área foliar, a qual consistiu no abate de uma planta da área útil definida em cada parcela. Após o devido acondicionamento em sacos de papel devidamente etiquetados, procedeu-se com a secagem das amostras no sol, até se atingir uma humidade constante e por fim pesou-se as amostras com uma balança de precisão. O seu rendimento foi determinado pela seguinte fórmula:

$$Rb = \frac{(DL * DP)m2}{10000 m2} \times P \quad (8)$$

Onde:

Rb \_ rendimento da biomassa aérea acumulada(Kg.ha<sup>-1</sup>)

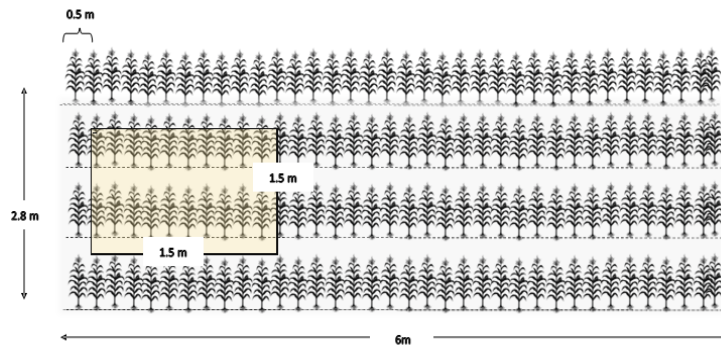
(10000) m<sup>2</sup> \_ factor de conversão para hectare

DL \_ distância entre linhas

DP \_ distância entre plantas

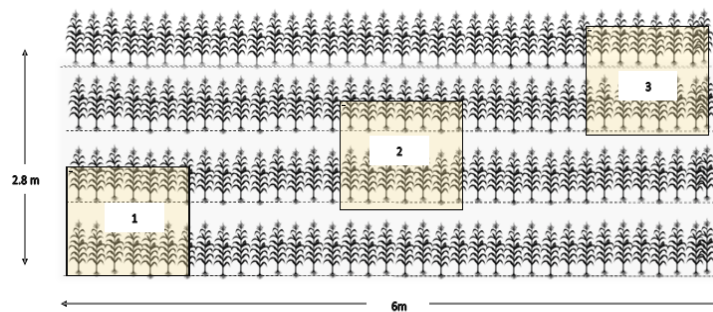
P \_ peso da amostra (Kg)

A área de amostragem da biomassa foi selecionada de modo a não coincidir com a área destinada a amostragem do peso do grão, conforme mostrado na Figura 13.



**Figura 13:** Representação da área de amostragem da biomassa.

A medição da altura das plantas foi feita semanalmente utilizando uma régua graduada de 3 metros, a partir da oitava semana DDS até o estágio de maturação fisiológica. As medições foram realizadas do nível do solo até o ápice foliar e da panícula, considerando a média de três pontos representativos em cada parcela: dois localizados nas extremidades e um no centro. Consulte o esquema das leituras na Figura 14.



**Figura 14:** Representação da área de amostragem da altura da planta e IAF.

### 3.7 Análise de dados

Para a análise dos dados de desenvolvimento vegetativo (altura das plantas e inserção da espiga), rendimento e seus componentes foi utilizado o Microsoft Excel para organizar as informações e construir tabelas e gráficos. A análise estatística foi conduzida com o software STATA 14. Inicialmente, foram aplicados os testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homogeneidade de variâncias (Breusch-Pagan). Em seguida, realizou-se a análise de variância (ANOVA) para blocos completos causalizados em arranjo fatorial. Para identificar pares de médias com diferenças estatisticamente significativas, foi aplicado o teste de Tukey, com nível de significância de 5% (recomendada para fins experimentais).

A determinação da correlação entre variáveis fenológicas, assim como a construção de gráficos de tendência dessas variáveis ao longo do tempo foi com base no pacote Microsoft Excel. A classificação da correlação foi com base no coeficiente de Pearson, descrito no anexo 1. Para o crescimento das plantas, usou-se a ferramenta “solver” para o ajustamento dos dados e construiu-se a curva através da seguinte equação logística:

$$y(t) = \frac{K}{1 + e^{-r(t-t_0)}} \quad (9)$$

Onde:

y - Altura da planta (cm) ou Biomassa aérea (Kg.ha<sup>-1</sup>)

K - Altura ou Biomassa aérea máxima (assíntota)

r - Taxa de crescimento relativa

t<sub>0</sub> - Semana de maior crescimento (ponto de inflexão)

O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) foi calculado através da seguinte fórmula:

$$R^2 = 1 - \left( \frac{SQ_{resíduos}}{SQ_{totais}} \right) \quad (10)$$

**Modelo estatístico usado:**

$$Y_{ijk} = \mu + \theta_i + \alpha_j + \tau_k + \beta_l + (\theta\alpha)_{ij} + (\theta\tau)_{ik} + (\alpha\tau)_{jk} + (\theta\alpha\tau)_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

Onde: – Y<sub>ijkl</sub>: é o rendimento da variedade k, que recebeu nível i de adubo e o nível j do factor água observado no bloco l.

$\mu$ : rendimento médio geral

$\theta_i$ : é o efeito do nível  $i$  de adubo (onde  $i=1$  e  $2$ )

$\alpha_j$ : é o efeito do nível  $j$  do factor água (onde  $j=1$  e  $2$ )

$\tau_k$ : é o efeito do nível  $k$  do factor variedade (onde  $k=1, 2$  e  $3$ )

$\beta_l$ : é efeito do nível  $l$  do bloco (onde  $l=1,2,3$ )

$(\theta\alpha)_{ij}$ : é a interação entre nível  $i$  de adubo e o nível  $j$  do factor água.

$(\theta\tau)_{ik}$ : é a interação entre o nível  $i$  de adubo e o nível  $k$  do factor variedade

$(\alpha\tau)_{jk}$ : é a interação entre o nível  $j$  do factor água e o nível  $k$  do factor variedade

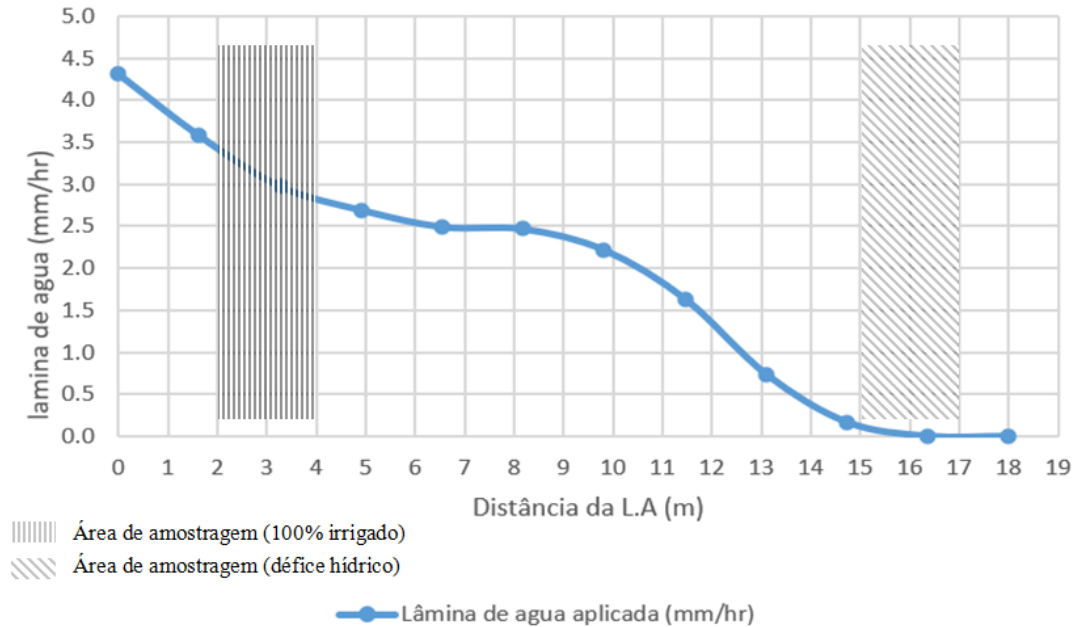
$(\theta\alpha\tau)_{ijk}$ : é a interação entre o nível  $i$  de adubo, o nível  $j$  do factor água e o nível  $k$  do factor variedade. e

$\varepsilon_{ijk}$ : é o erro experimental em cada parcela  $\varepsilon_{ijk} \sim \text{iidN}(0, \sigma^2)$

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Perfil de distribuição de água no Sistema aspersão em linha.

No perfil de distribuição de água no sistema de aspersão por linha, observou-se um gradiente decrescente da lâmina de água de rega em função do aumento da distância à linha dos aspersores, conforme ilustra a Figura 15. No Anexo 2 encontra-se os dados detalhados relativos a distribuição de água na rega por aspersão.



**Figura 15:** Perfil de distribuição de água dos aspersores.

Conforme mostrado na Figura 15, maior quantidade de água está nas proximidades da linha de aspersão (irrigação ótima), que diminui à medida que aumenta a distância da linha de aspersores. Embora se observe maior acúmulo de água próximo da linha de aspersão, também é possível identificar algumas flutuações (distribuição ligeiramente irregular) na distribuição em relação a zona intermediária, conforme demonstrado pelo CUC na tabela 5. No Anexo 3 estão representados mais dados sobre a distribuição de água e um mapa de calor no Anexo 4.

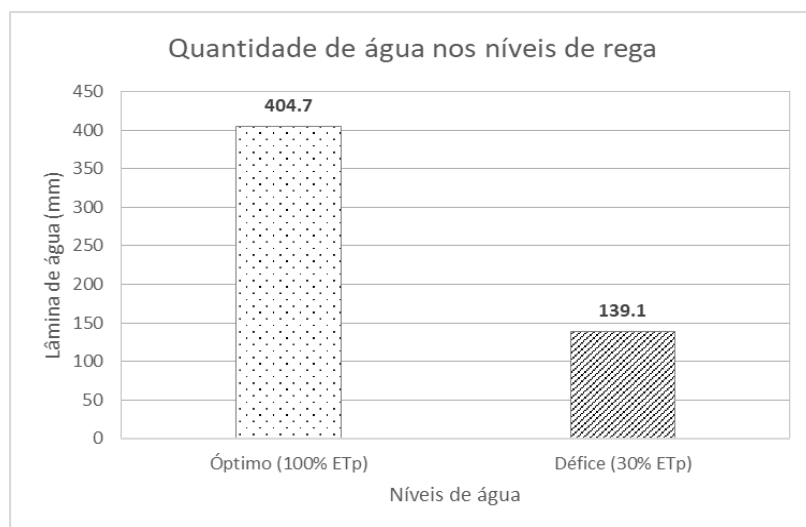
A Tabela 5 demonstra que o sistema de irrigação apresenta um coeficiente de uniformidade de aplicação considerada razoável no nível de irrigação ótimo. Esses resultados não estão dentro dos parâmetros recomendados para um projeto de irrigação. De acordo com J. Christiansen (1942), para culturas de alto valor recomenda-se CU igual ou superior a 80%.

**Tabela 5:** Coeficiente de uniformidade de Christiansen.

Nível de rega	Distancia da L.A (m)	Taxa de aplicação (mm.h <sup>-1</sup> )	CUC (%)
100% ETp (Ótimo)	0 - 6	3.4	79.8
Intermédia	6 - 12	2.2	82
30% ETp (Negligenciável)	12 - 18	0.2	-

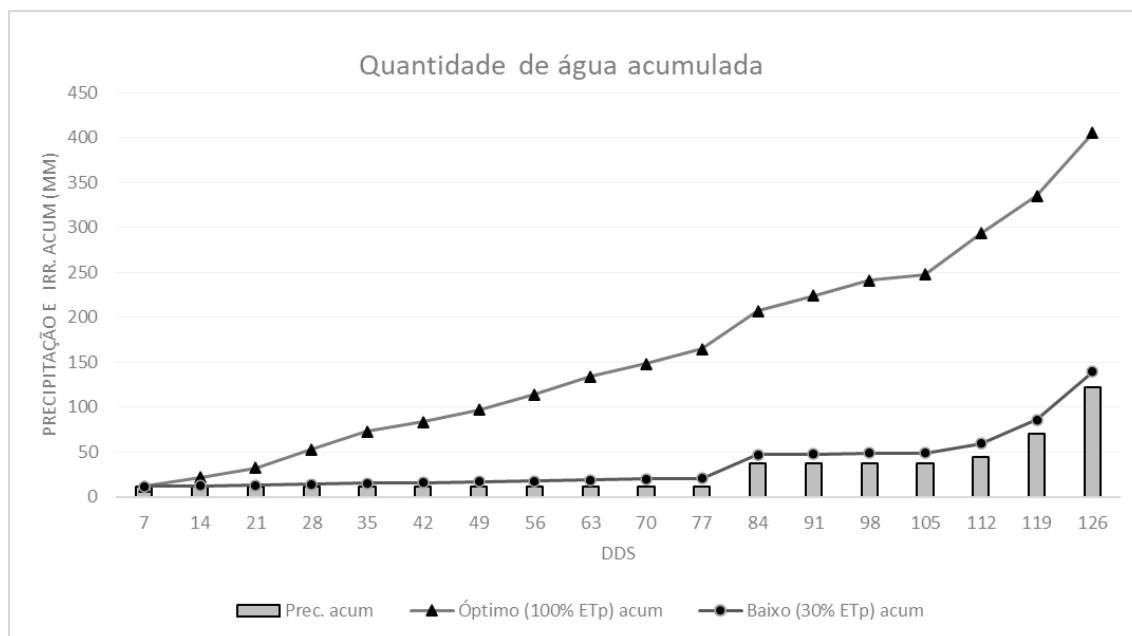
#### 4.2 Lâmina total de água fornecida

Durante o ciclo da cultura de milho, foram registados aproximadamente 404.7 mm e 139.1 mm de água, correspondentes aos níveis ótimo (100% ETp) e déficit (30% de ETp), respectivamente, conforme ilustrado na Figura 16. Importa destacar que, em ambos níveis, um total de 122.5 mm de água é proveniente da precipitação. Isso significa que, foram aplicados aproximadamente 282.2 mm de água no nível ótimo e 16.6 mm no déficit por meio do sistema de irrigação.



**Figura 16:** Lâmina total de água (mm) de irrigação e precipitação acumulada.

A Figura 17 apresenta os valores acumulados da precipitação e irrigação registados em intervalos de 7 dias, a partir do dia da sementeira. Ressalta-se que, no dia anterior à sementeira, foi registrada uma precipitação de aproximadamente 12 mm, o qual foi considerada no cálculo da lâmina acumulada de água aplicada ao longo do ciclo, conforme ilustrado na referida figura.



**Figura 17:** Irrigação e Precipitação acumulada (mm) ao longo do ciclo da cultura.

Albuquerque e Resende (2010) sustentam que para produção de grãos secos nas zonas áridas e semiáridas, o milho consome de 400 a 700 mm de água em seu ciclo completo, dependendo das condições climáticas da região. Contudo, observa-se que, para o clima de Moamba-sabié, forneceu-se água em quantidade dentro dos valores mínimos requeridos em zonas semiáridas. Fancelli (2001), também sustenta que a cultura do milho necessita de 400 à 600 mm de água para que possa atingir o seu potencial produtivo. Salientando que, a distribuição desta deve ser uniforme durante todo o ciclo da cultura e que necessita entre 4 a 6 mm.dia<sup>-1</sup>.

#### 4.3 Avaliação dos parâmetros fenológicos na culturas de milho.

Na tabela 6 estão ilustrados valores das variâncias dos parâmetros fenológicos da cultura de milho em diferentes níveis de rega (ótima rega e déficit hídrica) e adubação (100% adubado e sem adubo), usando o delineamento de blocos completos causalizados em arranjo factorial (mais detalhes da ANOVA e teste de especializações pode ser vistos nos anexos 5 e 6.

**Tabela 6:** Valor de probabilidade das variáveis fenológicas e do rendimento do milho.

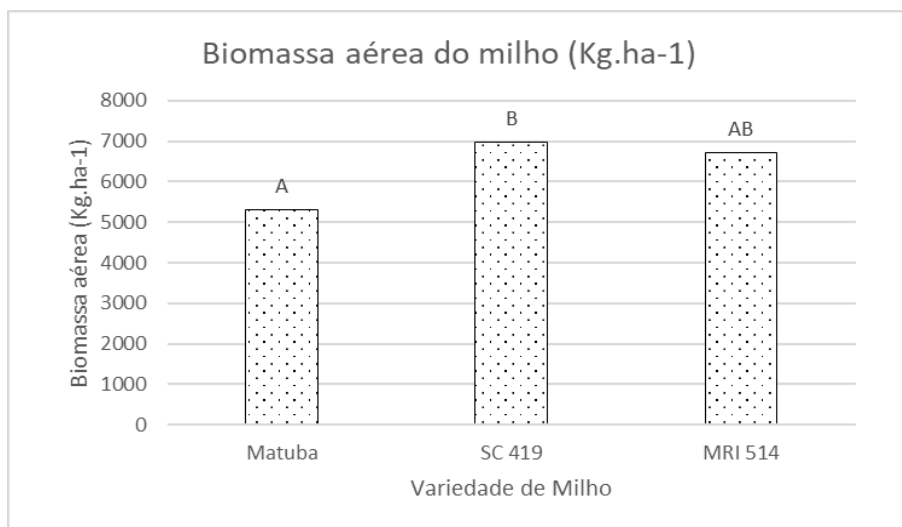
Parâmetro	Probabilidade (P-value)					
	R. Bio Aérea	Rendimento do grão	Alt. ins. da espiga	Altura da planta	P100 sementes	IC (%)
<b>Variedade (A)</b>	0.0401*	0.1023	0.0064*	0.8191	0.082	0.231
<b>N. de Adubo (B)</b>	0.0006*	0.0007*	0.000*	0.0034*	0.2112	0.350
<b>N. de Rega (C)</b>	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.002*
<b>A # B</b>	0.1804	0.4643	0.0138*	0.8246	0.4528	0.924
<b>A # C</b>	0.8972	0.5392	0.000*	0.8074	0.5155	0.348
<b>B # C</b>	0.0229*	0.0042*	0.1799	0.0017*	0.8936	0.899
<b>A # B # C</b>	0.3994	0.55	0.8741	0.8015	0.3405	0.993

\* Indica os factores que apresentaram efeito significativo ( $p < 0,05$ )

Na avaliação do rendimento do grão e biomassa aérea, verificou-se que tanto a adubação quanto a irrigação tiveram efeito significativo ( $p < 0,05$ ). Para o factor adubação, obteve-se maior rendimento da biomassa aérea ( $4198.49 \text{ Kg.ha}^{-1}$ ) e do grão ( $2661.21 \text{ Kg.ha}^{-1}$ ) nas parcelas adubadas, enquanto que nas parcelas não adubadas o rendimento foi de apenas  $3053.07 \text{ Kg.ha}^{-1}$  de biomassa aérea e  $1701.6 \text{ Kg.ha}^{-1}$  de rendimento do grão. O factor nível de rega demonstrou ser mais determinante na determinação do rendimento do que a adubação, maiores rendimentos da biomassa aérea e grão foram registradas no nível com irrigação óptima, com  $5785.79$  e  $3924.902 \text{ Kg.ha}^{-1}$ , respectivamente, enquanto que no défice hídrica o rendimento foi consideravelmente menor,  $1465.77 \text{ Kg.ha}^{-1}$  de biomassa aérea e  $437.99 \text{ Kg.ha}^{-1}$  de grão. Observe os gráficos no anexo 7 e 8.

Além disso, foi observada uma diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) no factor variedades para o rendimento da biomassa aérea. A variedade SC 419 apresentou maior biomassa aérea ( $6971.71 \text{ Kg.ha}^{-1}$ ), indicando um potencial superior de acúmulo de matéria seca. A variedade MRI 514 teve desempenho próximo ao SC 419, não havendo diferença estatística significativa entre ambas. Enquanto que a variedade Matuba apresentou a menor biomassa aérea ( $5311.01 \text{ Kg.ha}^{-1}$ ), com diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) em relação à SC 419, refletindo uma menor capacidade de acumular matéria seca, conforme ilustrado na Figura 18.

Este resultado pode estar relacionado ao facto de que os híbridos tem maior capacidade de acumular mais matéria seca em relação aos OPVs. Segundo Tollenaar (2004), em condições de bom manejo os híbridos de milho apresentam maior acumulação de matéria seca do que as linhas parentais e OPVs, devido ao vigor híbrido que aumenta a interceptação da luz e prolonga a duração da área foliar. Porém, estudos feitos por Omondi et al. (2016) apontam que na agricultura familiar (uso de baixos insumos) as variedades de polinização aberta podem igual ou serem superiores aos híbridos, pois se adaptam melhor a solos pobres e condições adversas.



**Figura 18:** Biomassa área das variedades de Milho.

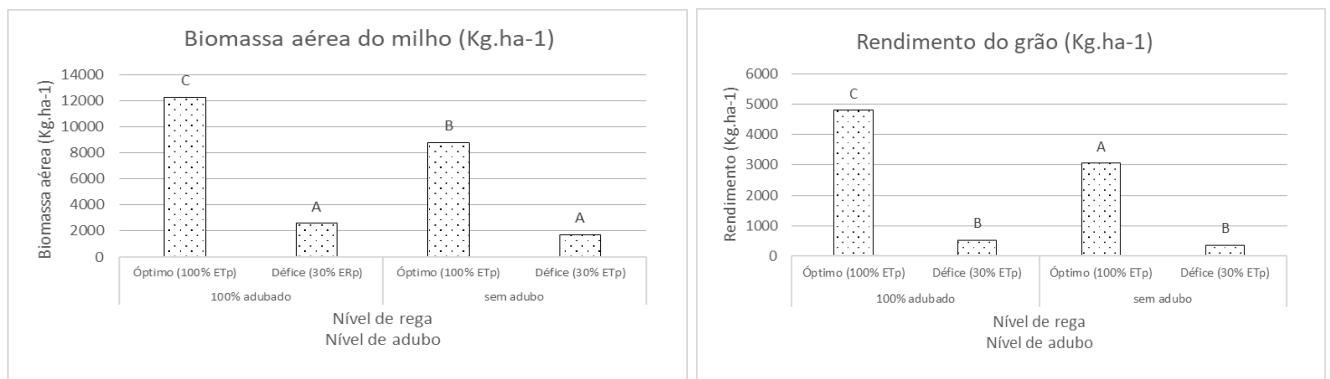
A interação entre os factores nível de rega e adubação também apresentou diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) para o rendimento. A combinação de irrigação óptima e adubação resultou em rendimentos da biomassa aérea e grão expressivamente superiores (12250.4 e 4796.62  $\text{Kg.ha}^{-1}$ , respetivamente), sendo estatisticamente diferente dos demais tratamentos. Em contrapartida, o menor rendimento foi observado no tratamento défice hídrica sem adubação (1733.139 e 350.19  $\text{Kg.ha}^{-1}$ , respetivamente), que não apresentou diferença significativa em relação ao défice hídrico com adubação (2585.317 e 525.79  $\text{Kg.ha}^{-1}$ , respetivamente), evidenciando menor efeito da adubação na ausência da irrigação. Conforme ilustrado na Figura 19.

Estes achados corroboram com os estudos de Homo (2022) e Muchanga (2024) sobre desempenho agronómico da cultura de milho nos estudos feitos em Sabié, que também observaram maiores rendimentos na combinação de irrigação óptima com adubação. De forma semelhante, Aruna et

al. (2022) verificaram que regimes combinados de irrigação e doses adequadas de Nitrogénio aumentam significativamente o acumulo da biomassa aérea em milho. Oliveira et al. (2014), que ao estudarem os efeito de irrigação e adubação nitrogenada em milho nas zonas semiáridas, observaram aumentos significativos no rendimento do grão nas parcelas com irrigação associada a adubação nitrogenada.

Esses resultados podem se dever ao facto de que em condições de déficit hídrica as plantas adoptam mecanismos como fechamento de estomas e redução da área foliar para reduzir perdas de água por transpiração e manter o turgor das células, o que acaba por afectar negativamente a fotossíntese e consequentemente o rendimento da cultura. O déficit hídrico e nutricional reduz a fotossíntese, o número de entrenós, a altura da planta, causa senescência precoce das folhas. impactando directamente na biomassa aérea da planta (Embrapa, 2017). De acordo com Silva et al. (2012), o efeito combinado da irrigação e adubação promove maior fotossíntese, consequentemente, maior rendimento.

No estudo de Homo (2020), também não foram observados diferenças significativas entre os tratamentos com déficit hídrico com e sem adubação. Esse comportamento pode ser explicado pelo facto de que a absorção de nutrientes no milho ocorre predominantemente por transporte activo em meio aquoso. Em solos secos, essa absorção é comprometida, tornando a adubação ineficaz na ausência de rega adequada (Taiz et al. 2017).



**Figura 19:** Rendimento do milho na interação entre factores nível de rega e adubação.

De um modo geral, os rendimentos mais baixos em todas as variedades foram observados nos tratamentos com deficiência hídrica, tanto com adubação como sem ela. Nestes casos, os rendimentos da biomassa aérea e grão estiveram abaixo de 2500 e 500 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente e não houve diferenças significativas entre eles (p>0,05), demonstrando que a água constitui um

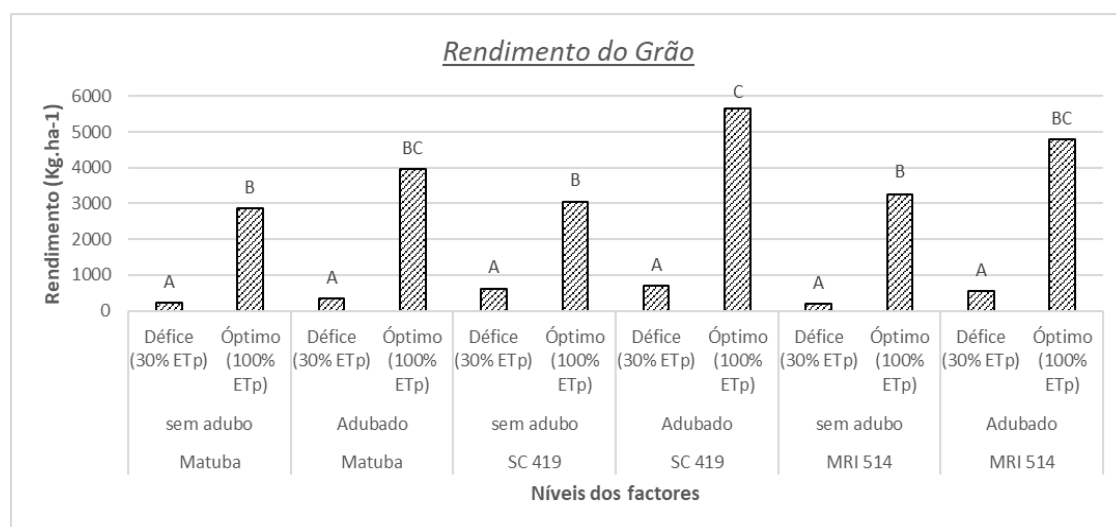
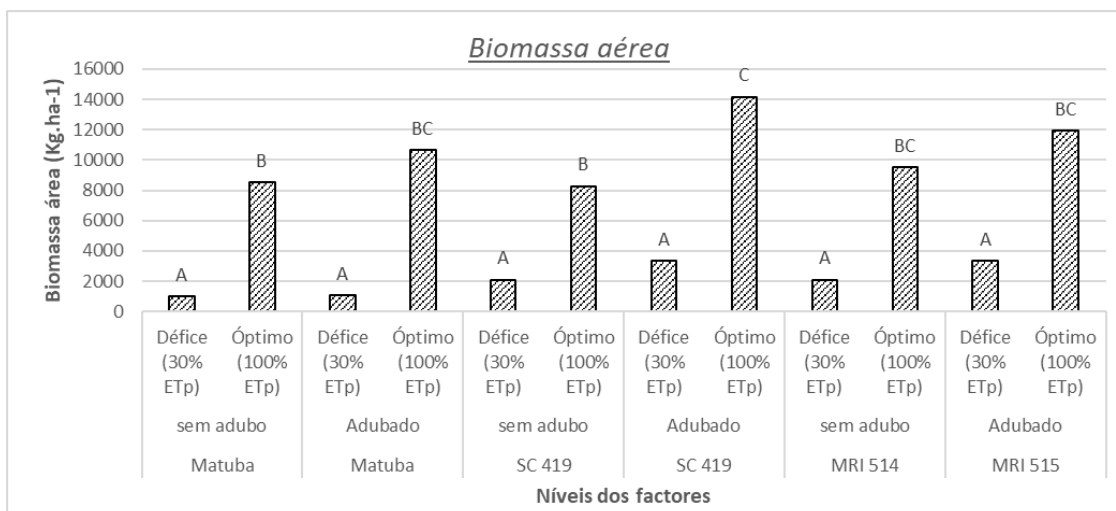
factor mais determinante do rendimento e que a adubação só é bem aproveitada pelo milho quando há boa disponibilidade hídrica.

Os rendimentos médios foram registados nos tratamentos com boa disponibilidade de água (100% ETP), sem aplicação de adubo, situando-se em torno de 8000 kg ha<sup>-1</sup> de biomassa aérea e 3000 Kg.ha<sup>-1</sup> de grão. Com destaque para o híbrido MRI 514, que obteve resultados ligeiramente superiores aos demais nestas condições, embora sem diferenças significativas.

Os rendimentos mais altos foram obtidos na combinação de boa rega (100% ETP) com aplicação de adubo, variando de 10.600 à aproximadamente 14.200 kg ha<sup>-1</sup> de biomassa aérea e 4000 à aproximadamente 5700 Kg.ha<sup>-1</sup> de grão. Isso demonstra, mais uma vez, o efeito sinérgico entre estes dois factores.

Quanto às variedades, os híbridos (SC419 e MRI 514) demonstraram uma tendência de resposta melhor à adubação e à irrigação em relação à Matuba, porém, sem diferenças significativas. Nessas condições, o SC419 apresentou rendimento ligeiramente superior ao MRI 514, embora a diferença não tenha sido estatisticamente significativa em relação às demais variedades. Destacou-se ainda por apresentar diferenças significativas quando adubado e quando não adubado, o que não se verificou noutras variedades.

Todas as variedades não apresentaram diferenças significativas nos seus rendimentos em condições de deficiência hídrica e nutricional. A Figura 20 apresenta mais detalhes sobre o rendimento nos diferentes tratamentos.

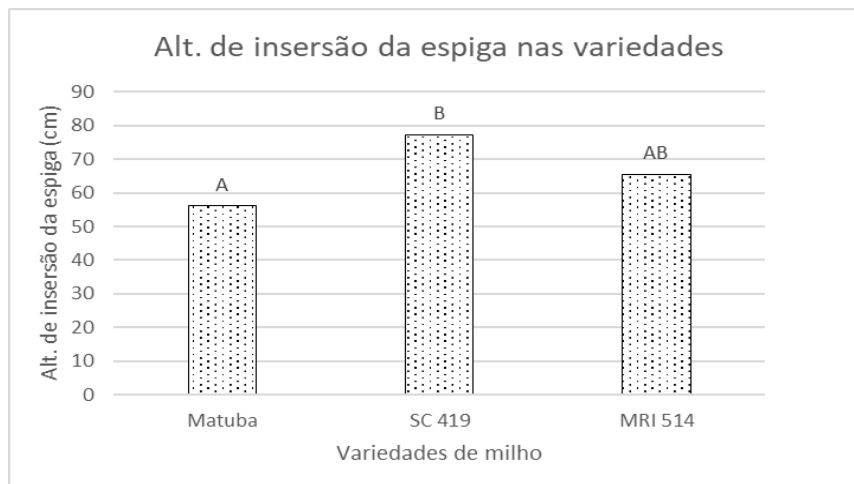


**Figura 20:** Rendimento das variedades de milho em diferentes níveis de irrigação e adubação.

No estudo da altura de inserção da espiga, observou-se que a maior altura de inserção da espiga foi registrada na variedade SC 419 (77.33 cm), sem diferença estatisticamente significativa em relação a variedade MRI 514 (65.5 cm). A variedade Matuba apresentou a menor altura de inserção da espiga (56.08 cm), embora também não tenha diferido estatisticamente com a variedade MRI 514, conforme ilustrado na Figura 21.

Estes achados podem ser explicado pela heterose, características típica dos híbridos de milho, que promove maior crescimento vegetativo e, conseqüentemente, posicionamento mais elevada da espiga. Segundo Silva et al. (2018), os híbridos de milho tendem a expressar maior altura da espiga devido ao melhor aproveitamento dos recursos e à superioridade genética em relação às OPVs.

Estudos anteriores, como os de Fancelli et al. (2000) e da Embrapa (2018), também apontam que a altura da inserção da espiga é influenciada por factores ambientais quanto pelo genótipo.



**Figura 21:** Altura de inserção da espiga nas diferentes variedades de milho

Observou-se uma interação significativa ( $p < 0.05$ ) entre os factores adubação e variedade. Os híbridos SC 419 e MRI 514 apresentaram uma boa resposta a adubação, onde a variedade SC 419 registrou a maior altura de inserção da espiga (98.33 cm), sem diferença estatisticamente significativa em relação à MRI 514 (74 cm). Por outro lado, a variedade Matuba não teve boa resposta ao factor adubação tendo apresentado a menor altura de inserção da espiga (58.16 cm), sendo estatisticamente diferente das demais. Nos tratamentos sem adubação, não houve diferenças estatisticamente significativas entre as variedades. A MRI 514 apresentou uma altura de inserção da espiga ligeiramente superior (57 cm) em comparação com SC 419 (56.33 cm) e Matuba (54 cm). Estes resultados evidenciam que os híbridos cumprem com o propósito de responder de forma eficiente ao bom manejo, podendo ser mais indicados para sistemas de produção de alta tecnologia. Por outro lado, a variedade Matuba mostrou mais estabilidade, com menor variação de altura entre níveis de adubo, isso demonstra seu carácter rústico e de menor resposta aos insumos.

Em contrapartida, a irrigação mostrou-se um factor mais determinante da altura da inserção da espiga nas três variedades, inclusive na variedade Matuba que não respondeu bem a adubação. A maior altura de inserção da espiga foi observada nas parcelas com irrigação óptima, sendo registrada pela variedade MRI 514 (94.5 cm), sem diferença estatística em relação às variedades SC 419 (89.33 cm) e Matuba (94 cm). A menor altura de inserção da espiga (18 cm) foi registrada

na condição de déficit hídrica pela variedade Matuba, também sem diferença estatística em relação à variedade MRI 514 (36.5 cm). Nessa condição, a variedade SC 419 apresentou maior altura de inserção da espiga (65.33 cm). Conforme ilustrado na Figura 22.

Estes resultados corroboram os obtidos por Homo (2022), que constatou aumento da altura de inserção da espiga com incremento da disponibilidade de água e adubação no milho. De forma idêntica, Silva et al. (2017), constatou que a aplicação de 120 a 160 kg N.ha<sup>-1</sup> promoveu aumento da altura de inserção da espiga, podendo atingir até 135 cm, enquanto nas parcelas não adubadas permaneceu abaixo de 90 cm.

Estes achados podem ser atribuídos ao facto de que uma boa disponibilidade hídrica, bem como nutrição equilibrada, promove o aumento da taxa fotossintética da planta, resultando em maior produção de fotoassimilados, que em grande parte, são alocados para o crescimento vegetativo, o que se reflete em maior altura da planta e, conseqüentemente, em maior altura de inserção da espiga. Ademais, ressalta-se que os híbridos modernos foram desenvolvidos com o objectivo de maximizar o aproveitamento dos recursos disponíveis no ambiente, e responder de forma mais eficiente às condições de bom manejo e apresentar, portanto, desempenho agronómico superior em relação às variedades tradicionais.

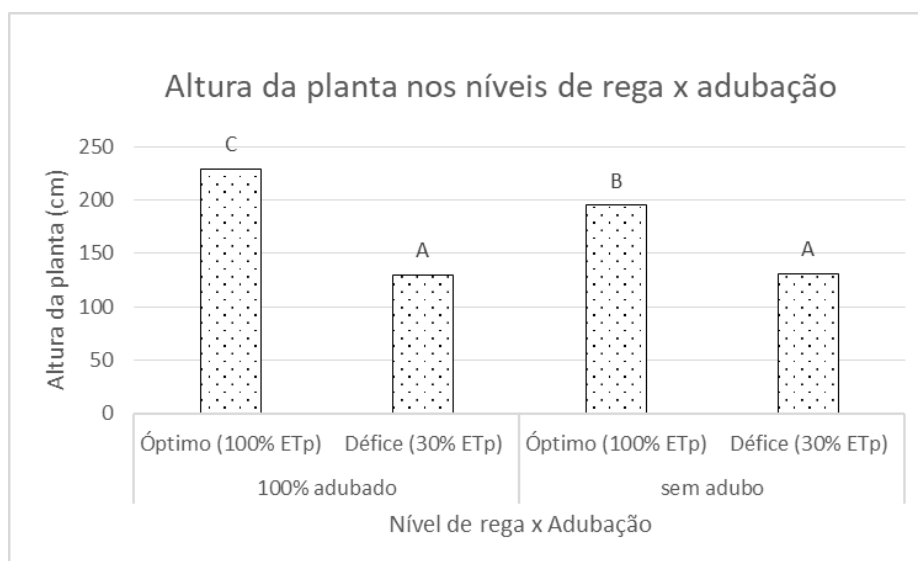
Segundo Torres et al. (2009), a altura da inserção da espiga está fortemente relacionada à disponibilidade de água e nutrientes, especialmente o nitrogénio, uma vez que esses factores influenciam directamente no crescimento vegetativo e alongamento do caule. O estresse hídrico, por sua vez, reduz o número de entrenós e, conseqüentemente, desenvolvimento da planta.

De acordo com Li et al. (2007) e Siqueira et al. (2009), em condições irrigadas, a maior altura da espiga pode elevar o centro de gravidade da planta, tornando-a mais susceptível ao acamamento, sobretudo sob acção de ventos fortes em solos soltos. No entanto, estudos realizados por Campos et al. (2010) não observou relação significativa entre a altura inserção da espiga e taxas de acamamento, ao analisarem diferentes variedades de milho. Já Possamai et al. (2001) enfatizam que as perdas e pureza do grão na colheita mecanizada, são directamente ligados a altura de inserção da espiga, sendo plantas mais altas e com inserção da espiga mais alta que apresentam vantagem na colheita mecanizada.



**Figura 22:** Altura de inserção da espiga nas diferentes variedades de milho. Altura de inserção da espiga nas diferentes variedades de milho.

Ao estudar a altura da planta, verificou-se uma diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) nos níveis de rega e adubação. No factor nível de rega, observou-se maior altura das plantas (211.82 cm) nas parcelas com irrigação ótima, em comparação com 130.09 cm registrado em condições de déficit hídrico. Quanto ao factor adubação, o nível adubado apresentou maior altura das plantas (179.13 cm), enquanto que a menor altura (162.77 cm) foi observada nas parcelas não adubadas. Conforme ilustrado no Anexo 9.



**Figura 23:** Altura das plantas na interação entre factores nível de água e nível adubação. Verificou-se uma interação estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre o factor nível de rega e adubação na altura das plantas. A combinação entre irrigação ótima e adubação apresentou maior

altura das plantas (228.92 cm), sendo estatisticamente diferente da interação entre irrigação ótima e ausência de adubação. O déficit hídrico apresentou as menores alturas das plantas tanto com adubação (129.35 cm) quanto sem adubação (130.85 cm), não havendo diferença estatística significativa entre as duas condições, conforme ilustrado na Figura 23.

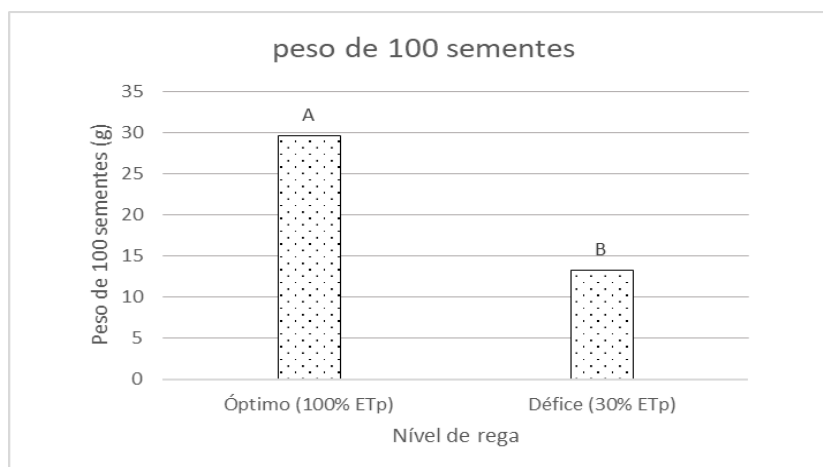
Resultados semelhantes foram reportados por Homo (2022), que também observou aumento expressivo na altura das plantas nas combinação dos níveis ótimos de rega e adubação. Souza et al. (2016) relataram plantas mais altas nas combinações entre maiores níveis de adubação e irrigação. Por outro lado, Moura et al. (2019) constataram que a aplicação de fertilizantes sem irrigação não teve efeito expressivo na altura da plantas.

De acordo com Embrapa (2018), reforça que o fornecimento equilibrado de água e nutrientes no milho é essencial para o crescimento vigoroso das plantas de milho, o que reflete maior altura e maior capacidade de interceptação da radiação solar.

Para o peso de 100 sementes, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre os níveis de água. O nível de irrigação ótima apresentou o maior peso de 100 sementes (29.66 g), enquanto o déficit hídrico resultou em apenas 13.27 g, Conforme ilustrado na Figura 24.

Estes resultados estão de acordo com Gomes et al. (2008), que observaram um aumento significativo no peso de 100 sementes em condições de irrigação ideal, em comparação com baixa disponibilidade de água. Os autores justificam que o estresse hídrico reduz tanto o tempo quanto a intensidade de enchimento do grão. De forma semelhante, Pereira et al. (2013) relatam que o déficit hídrico compromete a translação de fotoassimilados para os grãos, resultando em sementes menores e menos densas. Benedetti et al. (2015) constataram aumento de até 40% no peso de 100 sementes sob ótima irrigação em relação ao sequeiro.

Os factores variedade e nível de adubação não apresentaram efeitos estatisticamente significativos ( $p < 0.05$ ) no peso de 100 sementes. Segundo Borém e Miranda (2013), em muitas situações, características produtivas como o peso do grão são mais influenciadas pelas condições ambientais do que do genótipo. Em relação à adubação, Coelho et al. (2010) observaram que as doses crescentes de nitrogénio não alteraram significamente o peso de 100 sementes, embora tenha afectado o número de espigas e rendimento total. Em contrapartida, Sangoi e Almeida (1994) constataram que a aplicação de  $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de N proporcionou aumento de 7% do peso de 1000 sementes de relação às parcelas sem aplicação do Nitrogénio.



**Figura 24:** Peso de 100 sementes de milho em diferentes níveis de água.

Ao avaliar o índice de colheita (IC), observou-se que, embora a variedade SC 419 tenha apresentado valores ligeiramente superiores em relação às demais, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre as variedades. Ressalta-se que, apesar dos híbridos terem alcançado rendimentos de grão superiores à variedade Matuba, isso nem sempre se traduz em maiores valores de IC, uma vez que tais genótipos tendem a acumular simultaneamente maior quantidade de biomassa vegetativa e de grãos. Conforme ilustrado na Figura 20, tanto o rendimento de grãos quanto a biomassa aérea apresentaram crescimento proporcional, o que explica a manutenção de índices de colheita semelhantes entre as variedades avaliadas.

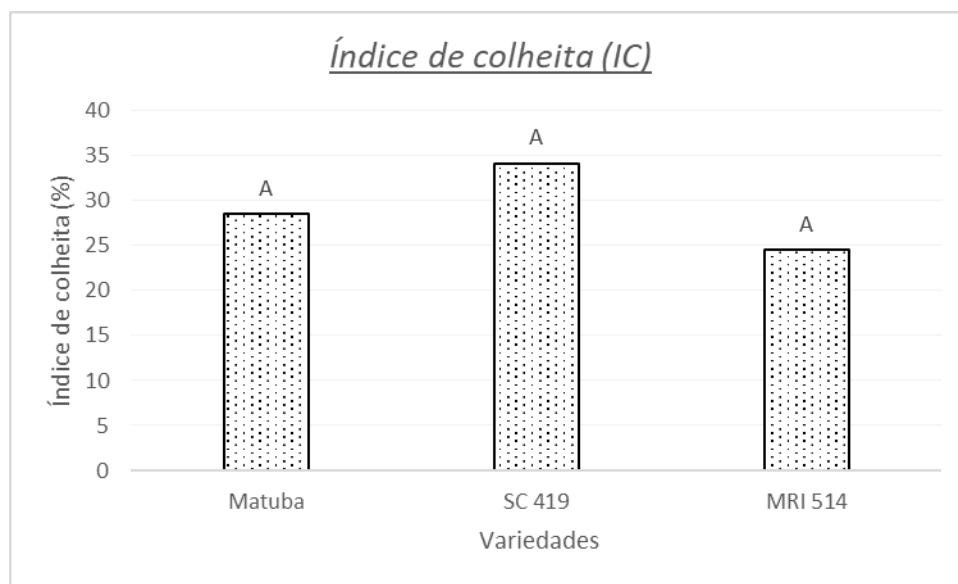
Liu et al. (2020) ao analisarem diferentes culturas, incluindo o milho, encontraram que os aumentos no rendimento em milho foram associados principalmente ao aumento da biomassa total, enquanto o índice de colheita se manteve relativamente estável. Ahmed et al. (2014) em estudos feitos na Etiópia, avaliaram híbridos sob diferentes níveis de nitrogénio, tendo verificado que os híbridos que obtinham maiores rendimentos de grão também tinham maiores biomassa e que o IC variava com o genótipo e com a dose de nitrogénio, mas nem sempre com diferenças estatisticamente relevantes, salvo em comparações com variedades muito inferiores ou em condição de défice de nutrientes.

No presente estudo, a interação entre os factores avaliados não evidenciou diferenças relevantes, o que indica que o índice de colheita (IC) não foi significativamente influenciado. Contudo, observou-se efeito estatisticamente significativo do factor nível de irrigação, com valores de 21,3%

sob déficit hídrico e de 36,8% sob irrigação óptima. Refira-se aos gráficos nos Anexos 10 e 11 para mais detalhes.

Esta constatação pode se dever ao facto de que na fase da floração, o stress hídrico reduz a emissão e fecundação das flores, diminuindo o número de grãos formados, porque a biomassa vegetativa já está formada, mas a produção de grão é comprometida. Além disso, Em condições de stress, muitas plantas podem priorizar a sobrevivência (raízes e colmos) em detrimento da reprodução, ou seja, há mais biomassa relativa na parte vegetativa.

Bänziger et al. (2000) mostraram que em milho sob déficit hídrico durante o florescimento, o IC reduziu-se de aproximadamente 45% (em condição óptima) para valores inferiores a 30%, devido à drástica redução no número de grãos. Monneveux et al. (2006) também reportaram que o IC é um dos componentes mais afectados pelo stress hídrico no milho, principalmente se ocorrer na fase reprodutiva.



**Figura 25:** Coeficiente de colheita das variedades.

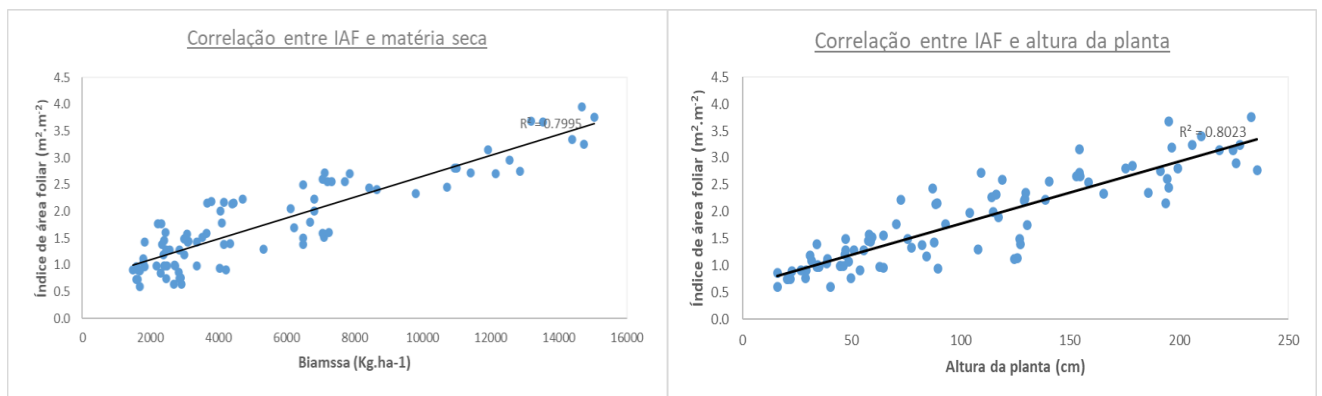
#### 4.4 Correlação entre índice de área foliar (IAF) e outras variáveis fenológicas.

Na análise entre índice de área foliar (IAF) e biomassa aérea, verificou-se uma correlação forte positiva sendo que aproximadamente 79,9% da variação da biomassa aérea pode ser explicada pelo índice da área foliar ( $R^2 = 0.799$ ), pelo que se pode dizer que o índice de área foliar é um bom predictor de rendimento da biomassa aérea (Figura 26).

Este resultado aproxima-se à maioria dos estudos. Por exemplo, no estudo de Liu et al. (2017) reportaram correlação entre índice de área foliar e biomassa aérea antes da floração muito forte (cerca de  $R^2 = 0.87$ ). Além disso, Cabrera et al. (2007) constataram uma correlação com  $R^2$  variando de 0,82 a 0.9 em milho irrigado e adubado.

Na avaliação da correlação entre índice de área foliar e altura da planta, verificou-se uma correlação forte positiva. Cerca de 80 % da variação do índice de área foliar pôde ser explicada pela altura da planta ( $R^2 = 0.80$ ), o que sugere que o crescimento vegetativo (em altura) está fortemente relacionado com a expansão foliar (Figura 26).

De acordo com Carvalho et al. (2014), ao avaliarem o desempenho agronômico de híbridos de milho, observaram que, em sistemas irrigados e adequadamente adubados, plantas mais altas apresentavam maior área foliar, o que impacta directamente o potencial fotossintéticos e produtivos.



**Figura 26:** Correlação entre índice de área foliar (IAF), altura da planta e biomassa aérea na cultura de milho.

## 5. Conclusões

- O maior rendimento de grão (4797 kg/ha) e biomassa aérea (12250 kg/ha) foi obtido no nível ótimo de rega (405 mm) combinada com adubação (260 NPK 12:24:12 e 55 Kg/ha N).
- A variedade SC 419 apresentou maior altura de inserção da espiga (77 cm) quando submetida a nível ótimo de rega (405 mm) e adubação (260 NPK 12:24:12 e 55 Kg/ha N) em comparação com a Matuba (56 cm).
- Todas variedades não apresentam diferenças significativas quanto ao índice de colheita e peso de 100 sementes.
- Existe uma correlação forte positiva ( $R^2 = 0.8$ ) entre índice de área foliar (IAF), biomassa aérea e altura da planta.

## **6. Recomendações**

Para investigadores

- Realizar mais estudos com outras variedades e/ou outros níveis de irrigação e adubação.

Para pequenos agricultores:

- Combinar irrigação óptima (405 mm) combinada com adubação (260 NPK 12:24:12 e 55 Kg/ha N), pois essa interação demonstrou maior impacto positivo no rendimento do grão e biomassa área.
- Uso de qualquer uma das variedades, independentemente do sistema de cultivo, pois o rendimento do grão não teve diferença significativa.

## 7. Referências bibliográficas.

- Albuquerque, P. L. & Resende, M. 2010. Maneio de irrigação no cultivo de Milho: milho e sorgo. Sistema de produção. 3 edição. Minas Gerais: Atlas, P. 46.
- Allen, R. G., JENSEN, M. E., WRIGHT, J. L., BURMAN R. D. 1989. Operacional estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, Madison, v. 81, n. 4, p.650-662.
- Allen, R.G. A. Penman for all seasons. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.112, n.4, 1986.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., et al. 1998. *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage*. FAO. Roma. P. 209.
- Almeida, B.M. (2016). Deficit e excesso hídrico na cultura de milho (zea mays) em ambiente protegido. Tese Doutorado em irrigação e drenagem. Universidade de São Paulo. Brasil, p.48-68.
- Amede, T., Kihara, J., Vanlauwe, B., Waswa, B., & Okeyo, J. (2017). The soil–water–nutrient nexus: Linking resource management to smallholder farmer productivity in Sub-Saharan Africa. *Experimental Agriculture*, 53(4), 1–19.
- Aruna, Y. R., Kumar, R. M., Rao, C. S., & Raju, K. S. (2022). Interactive effects of water and nitrogen stress on biomass accumulation, nitrogen uptake and seed yield of maize. *The Journal of Research, PJTSAU*, 50(1), 42–47. Disponível em: <https://ebook.icar.gov.in/index.php/TJRP/article/view/123212>. Acesso em: 05.07.2025
- Bänziger, M., Edmeados, G. O., Beck, D. e Bellon, M. (2000). Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: From Theory to practice. CIMMYT, México, D.F.
- BÁRBARO, I.M; BRANCALIÃO, S.R.; TICELLI, M. É possível a fixação biológica de nitrogênio no milho? (2008). Artigo em Hypertexto. Disponível em: Acesso em: 27/07/2025.
- Basso, C. J., Carvalho, I. R., Martin, T. N., & Pelizzari, A. (2013). Efeitos da deficiência hídrica no crescimento de híbridos de milho. *Revista Científica Rural*, 18(2), 165–172.
- Bastos, E. A., Andrade Júnior, A. S. de, Silva, A. R. A. da, & Cardoso, M. J. (2018). Características fisiológicas e índice de área foliar em híbridos de milho sob estresse hídrico. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 17(1), 34–46. Disponível em: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v17n1p34-46>. Acesso em: 02/07/2025

- Benedetti, A. B.; Monteiro, J. A. Santos, J. P (2015). Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de milho em função irrigação e adubação. *Revista de Agricultura Neotropical*. Brasil, v.29, n.1, p.76-91
- Benincasa, M. M. P. (2003). *Análise de crescimento de plantas: Noções básicas*. Jaboticabal: FUNEP. Brasília, v.41, n.2, p.243-249
- Borém, A.; Miranda, G. (2013). *Melhoramento das plantas (6ª edição)*. Viçosa: Editora UFV. Minas Gerais, Brasil. p. 47-52
- Cairns, J. E., & Prasanna, B. M. (2018). Developing and deploying climate-resilient maize varieties in the developing world. *Current Opinion in Plant Biology*, 45, 226–230.
- Cairns, J. E., Hellin, J., Sonder, K., Araus, J. L., MacRobert, J. F., Thierfelder, C., & Prasanna, B. M. (2013). Adapting maize production to climate change in sub-Saharan Africa. *Food Security*, 5, 345–360.
- Çakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of maize. *Field Crops Research*, 89, 1–16.
- Carvalho, D. F., Oliveira Neto, D. H., Gomes, D. P., & Oliveira, B. S. (2012). Desempenho agrônômico do milho sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio. *Engenharia Agrícola*, 32(5), 875–883. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000500005>. Acesso em: 02/07/2025
- Coelho, A. M.; Alves, V. M. & Hernani, L. C. (2008). *Nutrição e Adubação do milho*, 4 ed., Embrapa Milho e Sorgo. Brasil. p 122-134
- Cunguara, B., Fagilde, G., Garrett, J., R. Uaiene, and Derek Heady. (2011). Growth without change: The elusiveness of agricultural and economic transformation in Mozambique. Paper presented at the conference on rural urban transformation in Mozambique, Accra, 11-12 May, 2011.
- Cunguara, B.; GARRETT, J. 2011. *O Sector Agrário em Moçambique: Análise situacional, constrangimentos e oportunidades para o crescimento agrário*. Maputo: IFPRI e Michigan State University. Disponível em: IFPRI e Michigan State University, 72p.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). *Yield response to water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome: FAO.

- Edmeades, G. O., Bolaños, J., Hernández, M., & Bello, S. (2004). Causes for silk delay in lowland tropical maize. *Crop Science*, 33, 1029–1035.
- Embrapa. Milho e sorgo (2018). Sete lagos: disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>. Acesso em: 15/05/2025
- FAEF- DER (Faculdade De Agronomia E Engenharia Florestal). Notas de aulas praticas de rega e drenagem. UEM. Moçambique.
- Fancelli, A. L., & Dourado Neto, D. (2000). Produção de milho. Guaíba: Agropecuária. p. 19–37
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). The state of the world’s land and water resources for food and agriculture (SOLAW). Rome: FAO.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Seed systems, improved seed and food security. Rome: FAO.
- FAOSTAT. UN Food and Agriculture Organization statistics. disponível em: <http://www.fao.org/faostat>. Acesso:27/07/2025.
- Ferreira, J. M., Oliveira, M. L., Lima, M. H., & Santos, R. A. (2020). Respostas morfofisiológicas de milho sob estresse combinado. *Revista de Ciências Agrárias*, 43(3), 556–564.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., & Sharkey, T. D. (2006). Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for crop improvement. *Journal of Experimental Botany*, 57(2), 491–502. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/eri279>. Acesso em: 05/07/2025
- Gomes, D. P., Magalhães, P. C., Durães, F. O. M., Reis, M. S., & Carvalho, J. G. (2008). Efeito da irrigação no rendimento do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(3), 281–288. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000300010>. Acesso em: 05/07/2025
- Homo, E. (2022). Avaliação do desempenho da cultura de milho e feijão nhemba em cultivo puro e consociado sob diferentes níveis de água e adubação. Projeto final FAEF- UEM. P. 35-45.

- Liu, Y.; zhang, H.; Xu, X.; wang, F. Effects of different irrigation and fertilizer management strategies on maize yield, biomass, and resource use efficiency. *Agronomy*, v. 14, n. 3, p. 672, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy14030672>. Acesso em: 26/09/2025
- Magalhães, P. C. et al. (2007). Desenvolvimento morfológico do milho em resposta à disponibilidade hídrica do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*.
- Magalhães, P. C.; Durães, F. O. (2006). Fisiologia e produção do milho. *Embrapa. Circular Técnica. Embrapa*. p. 76, 27
- Mango, N. et al. (2018). Maize value chain analysis: A case of smallholder maize production and marketing in selected areas of Malawi and Mozambique. *Cogent Business & Management*,.
- Marcos, R.; João, E.; Gudo, R. (2022). Avaliação agronômica de genótipos de milho (*Zea mays* L.) em regime de sequeiro. *Enciclopédia Biosfera*, v. 19, n. 40
- MINAG (Ministério da Agricultura) (2009) Moçambique: Análise da despesa pública na agricultura. Relatório de Pesquisa. Volume I. Maputo: Ministério da Agricultura.
- Ministério da Administração Estatal (MAE), 2005. Perfil do distrito de Moamba Província de Maputo.
- MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL (MAE). (2005). Perfil do distrito de Moamba província de Maputo. Maputo – Moçambique. p. 102-105
- Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural (MADER) - Moçambique. 2020. Inquérito agrário integrado, Direção de Planificação e Políticas (DPP). Maputo,.
- Muchanga, M. J. (2024). Desempenho agronómico de variedades de milho (*Zea mays*L.) Sob diferentes tipos de lavoura e níveis de aplicação de água. Projeto final FAEF- UEM. P. 24-29.
- Oliveira, W. N.; Miz IARA, F.; Ferreira, N. C. (2019). Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo de Moçambique utilizando a Plataforma Google Earth Engine.
- Penman, H.L., Angus, D.E., Vangabel, C.H.M. Microclimatic factors affecting evaporation and transpirations. In: HAGAN, R.M., HAISE, W.R., EDMINSTER, T.W. (2 ed). *Irrigation and agricultura' lands*. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p.483-503.
- Pereira, P. H. de A. R. (2013). Efeito do pólen na produtividade e qualidade de sementes de milho. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Brasil. p 72. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1249>. Acesso em: 23/07/2025

- Pixley, K., & Bänziger, M. (2004). Open-pollinated maize varieties: A backward step or valuable option for farmers? *Food Policy*, 29, 495–509.
- Resende, M. 1987. Manejo de irrigação. In: CURSO DE USO E MANEIO DE IRRIGAÇÃO, 3, 1987, - MG. Sete Lagoas: Embrapa/CNPMS, p.1-36.
- Resende, M; Albuquerque, P. E. P.; Couto, L. 2003. A cultura do milho irrigado. Sete Lagoas. Brasília: Embrapa. p. 10-19
- Senete, C. et al. (2023). Catálogo de Tecnologias Libertadas pelo IIAM , Maputo,.
- Sila, C. A.; Silva C. J. (2005). Avaliação de uniformidade de sistemas de rega localizada. *Revista científica eletrónica de agronomia, Graça – SP, Ano IV, No 8*, p. 1-17.
- Silva, T. O., Oliveira, R. C., Silva, V. F., Ferreira, J. J., & Rodrigues, A. J. (2012). Resposta do milho à adubação nitrogenada e à irrigação. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 11(2), 153–164. Disponível em: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v11n2p153-164>. Acesso em: 05/07/2025
- Siteo, T. (2005). Agricultura familiar em moçambique estratégias de desenvolvimento sustentável. Maputo..
- Siteo, V. N. (2020). Avaliação do efeito da adubação mineral e orgânica na produtividade de Milho em diferentes níveis de gestão de água. Projeto final FAEF- UEM. Pag. 47
- Souza, L. O. C.; Mantovani, E. C.; Soares, A. A.; Ramos, M. M.; Freitas, P. S. L. (2006) Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. *Revista Brasileira*. 18(2), 165–172
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed. p. 741–752.
- Tejeda, L. H. C. (2019). Déficit hídrico em plântulas de milho: aspectos morfológicos e moleculares. Dissertação de Mestrado. Brasil. P. 53–86
- TIA (Trabalho de Inquérito Agrícola). Inquérito conduzido em 2007 pela Direcção de Economia, Departamento de Estatística, Ministério da Agricultura, Maputo. Moçambique.

- Titttonell, P., & Giller, K. E. (2013). When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Research*, 143, 76–90.
- Tollenaar, M., Ahmadzadeh, A., & Lee, E. A. (2004). Physiological basis of heterosis for grain yield in maize. *Crop Science*, 44, 2086–2094. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.2086>. Acesso em: 26/09/2025
- Torres, F. E. et al. (2009). Efeito da irrigação e adubação nitrogenada na produção de milho em sistemas de plantio directo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Pag. 541–548.
- Uaiene, R. N (2006). Introdução de Novas Tecnologias Agrícolas e Estratégias de Comercialização no Centro de Moçambique. Instituto De Investigação Agrária De Moçambique.
- Vanlauwe, B., Coyne, D., Gockowski, J., Hauser, S., Huising, J., Masso, C., Nziguheba, G., Schut, M., & Van Asten, P. (2014). Sustainable intensification and the African smallholder farmer. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 15–22.
- Vanlauwe, B., Wendt, J., & Diels, J. (2011). Combined application of organic matter and fertilizer. In *Integrated Soil Fertility Management in Sub-Saharan Africa*. Nairobi: CIAT.

## 8. Anexos

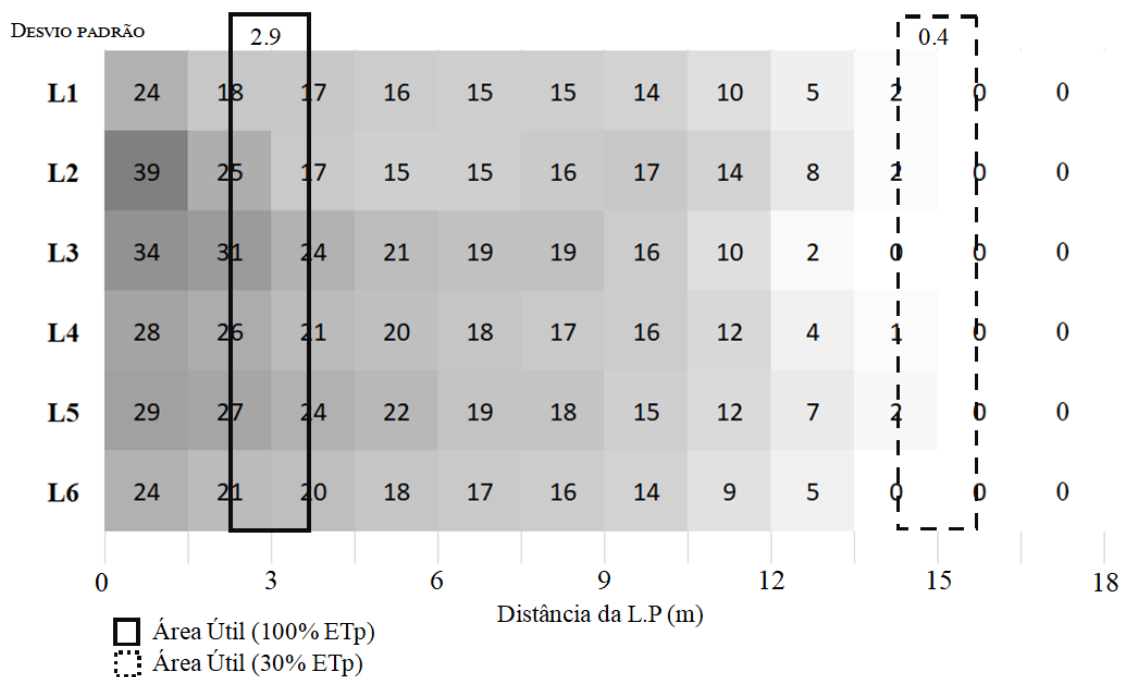
### Anexo 1: Coeficiente de pearson

Coeficiente de Pearson (+/-)	Descrição
1 a 0.9	Correlação muito forte positiva/negativa
0.7 a 0.9	Correlação forte positivo/negativa
0.5 a 0.7	Correlação moderada positivo/negativa
0.3 a 0.5	Correlação fraca positivo/negativa
0 a 0.3	Correlação desprezível positiva/negativa

### Anexo 2: Dados detalhados sobre a irrigação nos níveis de rega.

Data de rega	Duração (hr)	Caudal (mm/hr)	Ótimo (mm)	Ótimo acumulado (mm)	Caudal (mm/hr)	Sequeiro	Sequeiro acumulado (mm)
11/7/2024	3	3.4	10.2	10.2	0.2	0.6	0.2
12/7/2024	3	3.4	10.2	20.4	0.2	0.6	0.8
16/7/2024	3	3.4	10.2	30.6	0.2	0.6	1.4
20/7/2024	3	3.4	10.2	40.8	0.2	0.6	2
22/7/2024	3	3.4	10.2	51	0.2	0.6	2.6
26/7/2024	3	3.4	10.2	61.2	0.2	0.6	3.2
8/8/2024	3	3.4	10.2	71.4	0.2	0.6	3.8
16/08/2024	4	3.4	13.6	85	0.2	0.8	4.6
21/08/2024	4	3.4	13.6	98.6	0.2	0.8	5.4
23/08/2024	3	3.4	10.2	108.8	0.2	0.6	6
28/08/2024	4	3.4	13.6	122.4	0.2	0.8	6.8
31/08/2024	4	3.4	13.6	136	0.2	0.8	7.6
5/9/2024	4	3.4	13.6	149.6	0.2	0.8	8.4
14/9/2024	5	3.4	17	166.6	0.2	1	9.4
26/09/2024	5	3.4	17	183.6	0.2	1	10.4
3/10/2024	5	3.4	17	200.6	0.2	1	11.4
4/10/2024	5	3.4	17	217.6	0.2	1	12.4
8/10/2024	5	3.4	17	234.6	0.2	1	13.4
12/10/2024	4	3.4	13.6	248.2	0.2	0.8	14.2
22/10/2024	5	3.4	17	265.2	0.2	1	15.2
29/10/2024	5	3.4	17	282.2	0.2	1	16.2
Total			282.2			16.6	
Precipitação			122.5			122.5	
LTAD			404.7			139.1	

**Anexo 3:** Mapa de calor da distribuição de água pelos aspersores.



**Anexo 4:** Distribuição de água

Distancia (m)	0	1.6	3.3	4.9	6.5	8.2	9.8	11.5	13.1	14.7	16.4	18.0
Linha 1	24	18	17	16	15	15	14	10	5	2	0	0
Linha 2	39	25	17	15	15	16	17	14	8	2	0	0
Linha 3	34	31	24	21	19	19	16	10	2	0	0	0
Linha 4	28	26	21	20	18	17	16	12	4	1	0	0
Linha 5	29	27	24	22	19	18	15	12	7	2	0	0
Linha 6	24	21	20	18	17	16	14	9	5	0	0	0
<b>Media</b>	<b>29.6</b>	<b>24.6</b>	<b>20.4</b>	<b>18.5</b>	<b>17.1</b>	<b>16.9</b>	<b>15.2</b>	<b>11.2</b>	<b>5.1</b>	<b>1.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Volume medio (L)	0.0296	0.0246	0.0204	0.0185	0.0171	0.0169	0.0152	0.0112	0.0051	0.0011	0.0000	0.0000
Area (m2)	0.0958	0.0958	0.0958	0.0958	0.0958	0.0958	0.0958	0.0958	0.0958	0.0958	0.0958	0.0958
lamina de agua (mm)	12.9	10.7	8.9	8.1	7.5	7.4	6.6	4.9	2.2	0.5	0.0	0.0
Taxa de aplicacao (mm/hr)	4.3	3.6	3.0	2.7	2.5	2.5	2.2	1.6	0.7	0.2	0.0	0.0

**Anexo 5:** Analise de variância da biomassa de milho.

**Analise de dados (ANOVA)**

Hipóteses:

Ho: Todos os tratamentos apresentam a mesma biomassa média (Kg/ha);

Ha: Pelo menos um dos tratamentos tem biomassa média diferente dos demais.

Number of obs = 36 R-squared = 0.9269  
 Root MSE = 1607.09 Adj R-squared = 0.8838

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F
Model	7.208e+08	13	55448949	21.47	0.0000
variedade	19293740	2	9646870.1	3.74	0.0401
adubo	42083678	1	42083678	16.29	0.0006
rega	6.282e+08	1	6.282e+08	243.24	0.0000
variedade#adubo	9572842.7	2	4786421.3	1.85	0.1804
variedade#rega	563021.2	2	281510.6	0.11	0.8972
adubo#rega	15450088	1	15450088	5.98	0.0229
variedade#adubo#rega	4944096.2	2	2472048.1	0.96	0.3994
bloco	695692.14	2	347846.07	0.13	0.8747
Residual	56820325	22	2582742		
Total	7.777e+08	35	22218762		

**Conclusão:** Dado que o valor-p (0.0) é menor que o nível de significância  $\alpha$  (0.05), rejeita-se a hipótese nula. Então, com base no teste F, ao nível de significância de 5%, há evidências suficientes que mostram que pelo menos um dos tratamentos difere dos demais.

✓ **Testes de Especificação (Teste de Normalidade e de Heteroskedasticidade)**

• Teste de Normalidade

Hipóteses:

H<sub>0</sub>: Os resíduos seguem uma distribuição normal;

H<sub>a</sub>: Os resíduos não seguem uma distribuição normal.

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
erro	36	0.97468	0.923	-0.167	0.56627

**Conclusão:** Dado que o valor-p (0.56) é maior que o nível de significância  $\alpha$  (0.05), não se rejeita a hipótese nula. Assim, com base no teste de Shapiro Wilks, ao nível de significância de 5%, não há evidências suficientes para afirmar que os resíduos não seguem uma distribuição normal.

✓ Teste de Heteroskedasticidade

Hipóteses:

Ho: Os resíduos são homoskedásticos;

Ha: Os resíduos não são homoskedásticos.

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

Ho: Constant variance

Variables: erro

chi2(1) = 0.01

Prob > chi2 = 0.9028

**Conclusão:** Dado que o valor-p (0.9) é maior que o nível de significância  $\alpha$  (0.05), não se rejeita a hipótese nula. Assim, com base no teste de Breusch – Pagan, ao nível de significância de 5%, não há evidências suficientes para afirmar que os resíduos não são homoskedásticos.

**Anexo 6:** Análise da variância do rendimento de milho.

### Análise de dados

Hipóteses:

Ho: Todos os tratamentos apresentam o mesmo rendimento médio (Kg/ha);

Ha: Pelo menos um dos tratamentos no milho tem o rendimento médio diferente dos demais.

Number of obs = 36 R-squared = 0.9167  
Root MSE = 727.957 Adj R-squared = 0.8675

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F
Model	1.284e+08	13	9873551.4	18.63	0.0000
variedade	2685019.4	2	1342509.7	2.53	0.1023
adubo	8133847	1	8133847	15.35	0.0007
rega	1.089e+08	1	1.089e+08	205.45	0.0000
variedade#adubo	842050.51	2	421025.25	0.79	0.4643
variedade#rega	673346.91	2	336673.46	0.64	0.5392
adubo#rega	5406539.6	1	5406539.6	10.20	0.0042
variedade#adubo#rega	1093137.9	2	546568.94	1.03	0.3731
bloco	651159.39	2	325579.69	0.61	0.5500
Residual	11658265	22	529921.13		
Total	1.400e+08	35	4000412.4		

**Conclusão:** Dado que o valor-p (0.0) é menor que o nível de significância  $\alpha$  (0.05), rejeita-se a hipótese nula. Então, com base no teste F, ao nível de significância de 5%, há evidências suficientes que mostram que pelo menos um dos tratamentos difere dos demais.

✓ **Testes de Especificação (Teste de Normalidade e de Heteroskedasticidade)**

• Teste de Normalidade

Hipóteses:

Ho: Os resíduos seguem uma distribuição normal;

Ha: Os resíduos não seguem uma distribuição normal.

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
erro	36	0.96721	1.196	0.373	0.35439

**Conclusão:** Dado que o valor-p (0.23) é maior que o nível de significância  $\alpha$  (0.05), não se rejeita a hipótese nula. Assim, com base no teste de Shapiro Wilks, ao nível de significância de 5%, não há evidências suficientes para afirmar que os resíduos não seguem uma distribuição normal.

✓ Teste de Heteroskedasticidade

Hipóteses:

Ho: Os resíduos são homoskedásticos;

Ha: Os resíduos não são homoskedásticos.

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

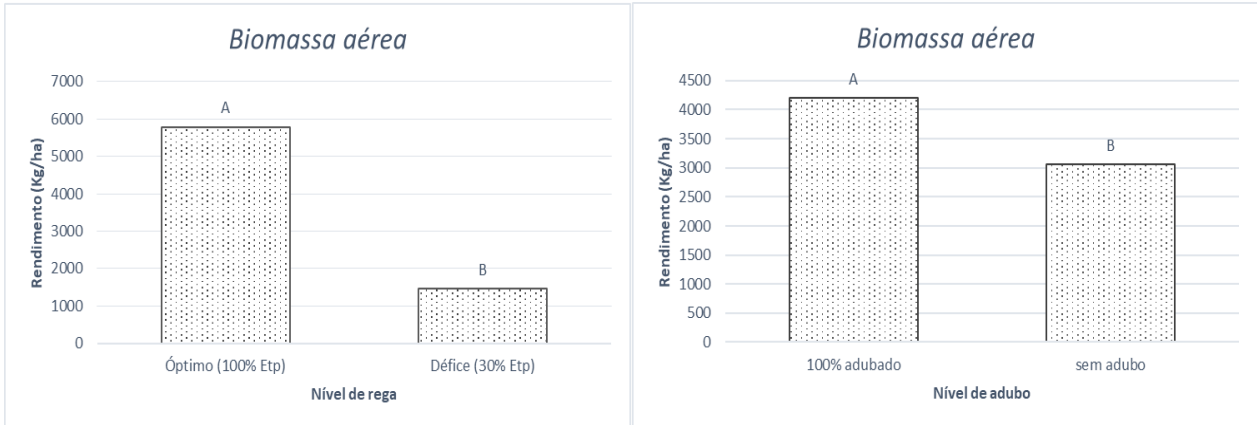
Ho: Constant variance

Variables: erro

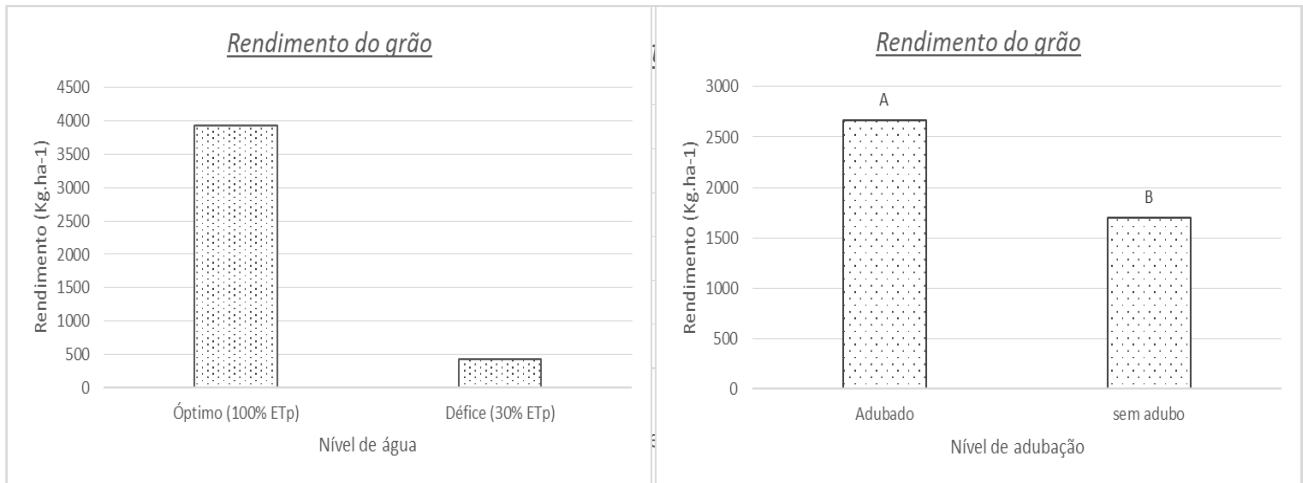
chi2(1)	=	1.66
Prob > chi2	=	0.1980

**Conclusão:** Dado que o valor-p (0.11) é maior que o nível de significância  $\alpha$  (0.05), não se rejeita a hipótese nula. Assim, com base no teste de Breusch – Pagan, ao nível de significância de 5%, não há evidências suficientes para afirmar que os resíduos não são homoskedásticos

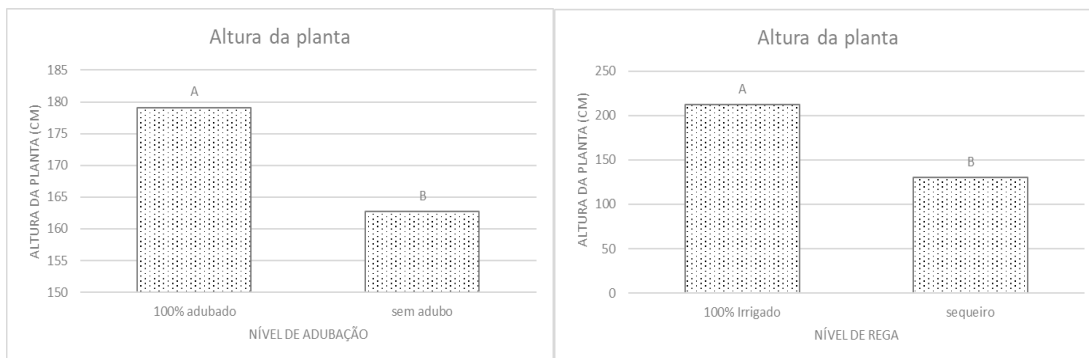
**Anexo 7: Rendimento da biomassa aérea**



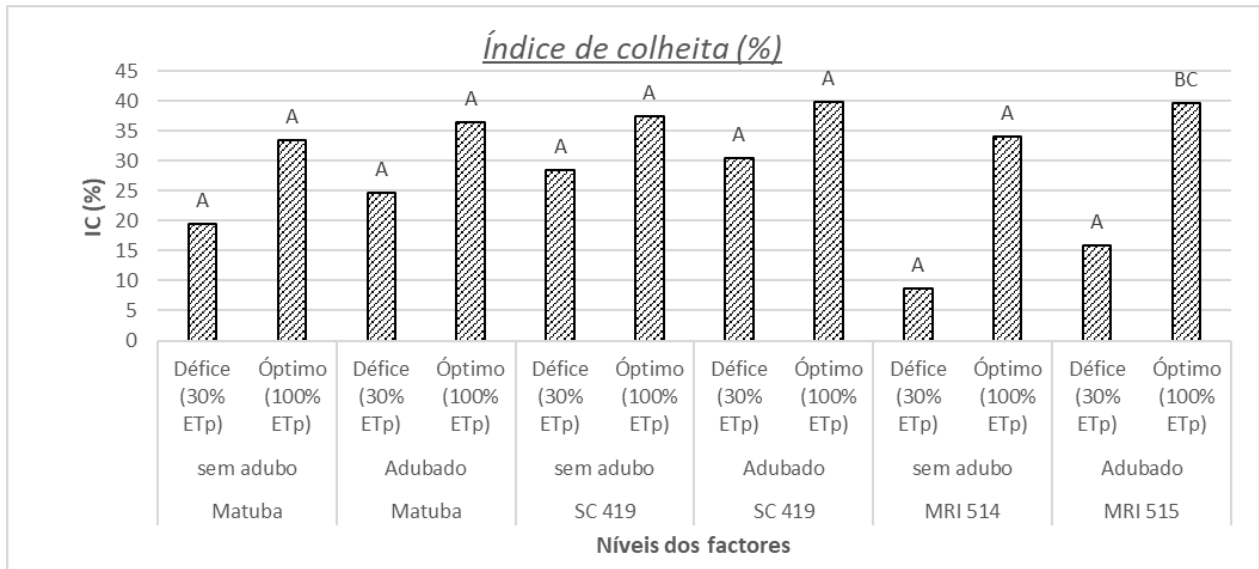
**Anexo 8: Rendimento do grão nos níveis de água e adubo**



**Anexo 9: Altura da planta de milho nos níveis de água e adubo**



**Anexo 10:** IC das variedades na interação entre níveis de água e adubo.



**Anexo 11:** IC nos níveis de água

