



Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal

Licenciatura em Engenharia Agronómica

Projecto Final

Efeito da Irrigação e Adubação Nitrogenada Sobre o Desenvolvimento do Sistema Radicular do Milho (*Zea mays* L.) Consociado com Feijão Nhemba (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)



Autora:

Catarina Nelson Mahumane

Supervisores:

Prof. Doutor Emílio Magaia

Prof. Doutor Sebastião Famba

Eng. João Nuvunga (M.Sc)

Maputo, Setembro de 2024

Catarina Nelson Mahumane

Efeito da Irrigação e Adubação Nitrogenada Sobre o Desenvolvimento do Sistema Radicular do Milho (*Zea mays* L.) Consociado com Feijão Nhemba (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

Relatório do projecto de investigação apresentada ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (FAEF) da Universidade Eduardo Mondlane, para obtenção do grau académico de Licenciatura em Engenharia Agronómica.

Supervisores:

Prof. Doutor Emílio Magaia

Prof. Doutor Sebastião Famba

Eng. João Nuvunga (M.Sc)

Universidade Eduardo Mondlane

Maputo

2024

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) em Moçambique é uma cultura importante para a segurança alimentar, entretanto, apresenta baixos rendimentos (0,6 a 1,2 ton/ha), devido a influência de vários factores, sendo um deles a distribuição irregular das chuvas e baixa fertilidade dos solos. Neste contexto o presente estudo avaliou o efeito da irrigação e adubação nitrogenada sobre o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular do milho consociado com Feijão Nhemba. O experimento foi conduzido no Centro de desenvolvimento agrário de Sábiè (CEDAS) no distrito de Moamba, seguindo o delineamento de blocos completos casualizados (DBCC) em arranjo factorial com três factores (2x2x2), que consistiram em 2 níveis de sistemas de cultivo (puro e consociado), 2 níveis de adubação nitrogenada (sem adubação de cobertura e aplicação de 166 ton/ha de N) e 2 níveis de irrigação (sequeiro e irrigado). Durante a implementação do ensaio houve problemas de estabelecimento da cultura resultante do atraso no começo da irrigação, porém, os valores das variáveis estudadas foram relativamente baixos, pelo que a sua avaliação deverá ter em foco relativo. Os parâmetros avaliados para a análise do crescimento e desenvolvimento radicular foram a densidade radicular (DR) em três camadas de profundidade do solo (0-15, 15- 30, 30-45 cm), a biomassa radicular (BR), a biomassa da parte aérea total (BA) e o rendimento do grão (RG). Os resultados obtidos mostraram que os níveis de irrigação proporcionaram diferenças significativas na maior parte dos parâmetros avaliados podendo-se destacar a biomassa total e o rendimento do grão. A razão raiz: parte aérea foi de 0,67 no sequeiro 13% mais alto que o nível óptimo de irrigação. O rendimento do grão no nível óptimo de irrigação foi de 3 ton/ha, 80% mais alto que o sequeiro. A correlação entre o rendimento do grão e a palha foi forte positiva. No entanto, recomenda-se mais estudos para se aprofundar o comportamento do sistema radicular do milho na consociação em diferentes condições edafo-climáticas.

Palavras-chave: Rendimento do milho, sistema radicular, adubação, irrigação, sistema de cultivo.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Catarina Nelson Mahumane, declaro por minha honra que o presente trabalho intitulado “Efeito da Irrigação e Adubação Nitrogenada Sobre o Desenvolvimento do Sistema Radicular do Milho (*Zea mays* L.) Consociado com Feijão Nhemba (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)” é da minha exclusiva autoria sob orientação dos meus supervisores. Declaro ainda que, o mesmo nunca foi apresentado em nenhuma outra instituição para a obtenção de qualquer grau académico que não seja para a minha candidatura ao grau de Licenciatura em Engenharia Agronómica na Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (FAEF) da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Março de 2024

(Catarina Nelson Mahumane)

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia a toda minha família, em especial a minha mãe, Delfina Chezane Tivane, pelo amor, carinho, confiança que em mim depositou, e pela motivação incondicional que sempre impulsionou, fazendo-me perceber que todo o futuro honestamente alcançado, é resultado de muita perseverança, garra, paciência e infinita dedicação no presente.

A minha irmã dr. Aventina Nelson Mahumane, que muito me apoiou nos momentos mais difíceis, aos meus irmãos, para que sirva de exemplo e motivação por forma a trilharem pelo mesmo caminho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela minha existência e constância de sua presença;

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto *IntercropValuES*, financiado pela *União Europeia*, para estudar técnicas visando o uso mais eficiente da água de rega em actividades agrícolas;

A toda minha família, especialmente minha mãe Delfina Chezane Tivane, pela incansável forma de educarem-me e acolherem-me em todas as minhas preocupações, desde pessoais, académicas, financeiras, por isso, profiro-lhe a minha grandiosa gratidão;

Aos supervisores Prof. Doutor Emílio Magaia, Prof. Doutor Sebastião Famba e Eng. João Nuvunga (M.Sc), pelas contínuas e sábias orientações, recomendações, lealdade, paciência, dedicação, compreensão e pela enorme motivação durante a minha formação académica e realização do relatório do projecto de investigação;

Ao Prof. Doutor Alfredo Nhantumbo e a todos os docentes do curso de Engenharia Agronómica, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (FAEF), por terem-me proporcionado o conhecimento e direccionamento no processo da minha formação;

Aos funcionários da FAEF dr. Eddy Mundlovo, Sr. Ricardo Enosse, Sr. Betuel Sigaúque e Sr. Sérgio Miguel, pelo apoio durante a montagem e condução do ensaio. Aos funcionários do CEDAS, em especial ao Ramos Siteo e o Dr. Victor pelo incentivo, afeto e apoio no decorrer do ensaio;

Aos meus amigos Orlino Boca, Ezequiel Siteo, dr. Calton Vidro, Eng. Nelson Mangujo, pelo auxílio na colecta de dados e companheirismo durante a realização do ensaio.

A todos os colegas da turma de 2019, em especial as colegas, Nilza Pequenino e Fernanda Chissano pela presença contínua e contributo desde a montagem do ensaio e colheita de dados, a Angélica Ngale, Imanishimue Nkuruziza, Fauzia Afonso, Guida Vitorino, pelo companheirismo, amizade e solidariedade que sempre tiveram durante a minha formação académica até hoje e a todos aqueles que de forma explícita ou implícita contribuíram para que eu chegasse até aqui, vai o meu:

Muito obrigada!

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Problema de estudo e justificação.....	2
1.3. Objectivos	3
Geral.....	3
Específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Cultura do Milho (<i>Zea mays</i> L.)	4
2.1.1. Aspectos gerais.....	4
2.1.2. Estágios de desenvolvimento da cultura do milho.....	4
2.1.3. Sistema radicular.....	7
2.2. Efeito da irrigação no desenvolvimento radicular e no rendimento do grão	7
2.3. Efeito da adubação no desenvolvimento radicular e no rendimento do grão	8
2.4. Efeito do sistema de cultivo no desenvolvimento radicular e no rendimento do grão	9
3. METODOLOGIA.....	10
3.1. Descrição da área de estudo.....	10
3.2. Desenho experimental.....	11
3.3. Determinação da distribuição de água e das necessidades de água de rega	12
3.4. Variedades	13
3.5. Condução do ensaio	13
3.6. Métodos de amostragem	14
3.6.1. Medição da densidade radicular.....	14
3.6.2. Medição da biomassa parte aérea e subterrânea.....	16
3.6.3. Medição das componentes de rendimento	17
3.7. Análise de dados	19
3.7.1. Teste de pressupostos e ANOVA.....	20
3.6.2. Correlação	20
4. RESULTADOS e DISCUSSÃO	21
4.1. Distribuição da precipitação e variação da temperatura durante o ensaio	21
4.2. Densidade radicular	23

4.3. Razão raiz: parte aérea (RRPA).....	27
4.4. Rendimento do grão.....	30
4.5. Correlação entre a biomassa aérea e biomassa radicular e entre o rendimento do grão e a palha	33
5. CONCLUSÕES	35
6. RECOMENDAÇÃO	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
8. ANEXOS	42
Anexo I: Dados da distribuição das necessidades de irrigação da cultura de milho...	42
Anexo II: Dados da densidade radicular (DR), biomassa aérea (BA) , biomassa radicular (BR), razão raiz : parte aérea (RRPA) ,índice de colheita (HI).....	43
Anexo III: Teste de médias (Tukey)	46
Anexo IV: Análise da correlação	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos tratamentos	11
Tabela 2: Descrição dos coeficientes de correlação	20
Tabela 3: Estágios de desenvolvimento da cultura de milho durante o ensaio	24
Tabela 4: P-value para densidade radicular em diferentes níveis de irrigação, adubação e sistema de cultivo	23
Tabela 5: P-value para BA, BR e RRPA em diferentes níveis de irrigação, adubação e sistema de cultivo	27
Tabela 6: P-value pra o rendimento médio do grão em diferentes níveis de irrigação, adubação e sistema de cultivo	30
Tabela 7: Dados da distribuição das necessidades de água de rega da cultura de milho usando o programa Cropwat.....	41
Tabela 8: Dados da densidade radicular	43
Tabela 9: Dados da biomassa aérea, biomassa radicular e razão raiz: parte aérea	44
Tabela 10: Dados do índice de colheita.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estágios de desenvolvimento da cultura do milho.....	5
Figura 2: Localização geográfica da área de estudo.....	10
Figura 3: Amostragem para determinação da densidade radicular	14
Figura 4: Procedimentos de colecta de amostras da densidade radicular	16
Figura 5: Procedimentos de colecta de amostras da biomassa parte aérea e subterrânea	17
Figura 6: Área útil para amostragem dos parâmetros de rendimento.....	18
Figura 7: Distribuição da precipitação e variação da temperatura durante o ciclo da cultura	21
Figura 8: Efeito da irrigação e adubação na densidade radicular do milho puro nas fases V7, VT e R4 nas profundidades 0-15 cm, 15-30 cm e 30- 45 cm.....	24

Figura 9: Efeito da irrigação e adubação na densidade radicular do milho consociado nas fases V7, VT e R4 nas profundidades 0-15 cm, 15-30 cm e 30- 45 cm.....	24
Figura 10A: Distribuição percentual da biomassa radicular da cultura do milho ao longo das profundidades do solo 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm, na fase grão pastoso para os tratamentos sequeiro e irrigado, respectivamente	25
Figura 10B: Distribuição percentual da biomassa radicular da cultura do milho ao longo das profundidades do solo 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm, no fase grão pastoso para os tratamentos sem adubação de cobertura e com aplicação de 166 kg/ha, respectivamente	25
Figura 11: Efeito da irrigação e adubação na biomassa radicular.	28
Figura 12: Efeito da irrigação na razão raiz: parte aérea.	28
Figura 13: Efeito da irrigação no rendimento do grão da cultura de milho.....	28
Figura 14: Distribuição percentual da biomassa total da cultura de milho no sequeiro e irrigado, respectivamente.....	31
Figura 15: Análise da relação entre a biomassa aérea e a biomassa radicular.	33
Figura 16: Análise da relação entre o rendimento do grão e a palha.	34

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA:	Análise de variância
BA:	Biomassa da parte aérea
BR:	Biomassa da raiz
BSR:	Biomassa seca da raiz
CEDAS:	Centro de Desenvolvimento Agrário de Sábíé
DDE:	Dias depois da emergência
DDS:	Dias depois da sementeira
DR:	Densidade radicular
ETc:	Evapotranspiração da cultura
ETo:	Evapotranspiração de referência
ETp:	Evapotranspiração potencial
FAEF:	Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
HI:	Índice de colheita
Kc:	Constante da cultura
MADER:	Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural
MAE:	Ministério de Administração Estatal
N:	Nitrogénio
OPV:	Variedade de polinização aberta
PS100:	Peso de 100 sementes
PSR:	Peso seco da raiz
UEM:	Universidade Eduardo Mondlane
USDA:	United State Department of Agriculture
VS:	Volume da sonda
RG:	Rendimento do grão

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O milho (*Zea mays* L.) é o segundo cereal mais importante em termos de produção no mundo, após o trigo, seguido do arroz e o primeiro em termos de rendimento (Fato *et al.*, 2011; USDA, 2012 citado por Gimo, 2013). Na África sub-sahariana, o milho é a segunda cultura mais importante depois da mandioca (Fato *et al.*, 2011). Em Moçambique é a principal cultura de segurança alimentar para 80% da população que vive nas zonas rurais, constituído a principal fonte de rendimento e de proteínas, ocupando 70% da área total de cultivo, porém apresenta baixos rendimentos variando de 0,6 a 1,2 toneladas por hectare (Fato *et al.*, 2011; MADER, 2020). Os constrangimentos que levam obtenção de baixos rendimentos são a distribuição irregular das chuvas, baixa fertilidade dos solos, pragas, doenças e factores sócio-culturais (Cunguara & Garrett, 2011; Fato *et al.*, 2011).

A maximização do rendimento na reduzida área explorada para o cultivo pelos agricultores e a redução do risco são factores por detrás da prática da consociação, permitindo obter algum rendimento mesmo nas situações em que a cultura de interesse seja afectada por algum factor limitante (Mudema *et al.*, 2012).

Além da consociação, a irrigação e a adubação nitrogenada são importantes para incrementar o rendimento da cultura do milho em Moçambique onde, geralmente esta é cultivado em sequeiro e com baixo uso de insumos agrícolas (Barbosa, 2017). Assim sendo, é importante considerar a influência da irrigação e adubação no crescimento e desenvolvimento da cultura e o papel do sistema radicular na absorção de água e o nitrogénio quando a cultura está sujeita a diferentes sistemas de cultivo (Neto *et al.*, 2013).

O sistema radicular exerce várias funções importantes, como suporte da planta, absorção de água e nutrientes e síntese de hormónios vegetais, como citocinina, e outros metabólitos secundários (Kerbaudy, 2004). A maior parte da água e nutrientes usados pelas plantas é absorvida pelas raízes, entretanto os sistemas radiculares são estudados com muito menos detalhes do que a parte aérea das plantas (Taylor, 1986; Freitas *et al.*, 2008). As razões para este facto podem ser atribuídas as actividades inerentes a sua difícil manipulação, além disso, muitas vezes não

constituem produto final para colheita (Magalhães *et al.*, 1996). Entretanto, há que se ter em conta que existe uma interdependência entre o crescimento da parte aérea e o sistema radicular para a produção das culturas (Tissi, 2001).

O conhecimento do sistema radicular sob diferentes condições edafo-climáticas e sistemas de cultivo, constitui um contributo importante para desenvolver modelos de eficiência na aplicação de água e nutrientes as culturas, reduzindo deste modo o risco de perdas nos sistemas produtivos (Ramos, 1998).

1.2. Problema de estudo e justificação

Em Moçambique alguns estudos foram realizados com o objectivo de avaliar a influência da adubação e irrigação na cultura de milho e avaliar o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular na cultura de milho de modo a desenvolver modelos que melhoram o uso da água e nutrientes (Mangujo, 2023; Zaqueu 2017; Magaia, 2017; Chilundo, 2017), todavia nenhum dos estudos aborda sobre o assunto em condições de consócio sendo os cultivos puros mais estudados na literatura.

A avaliação do sistema radicular de uma cultura é extremamente importante no diagnóstico de sistemas e técnicas de manejo que visam o aumento do rendimento agrícola (Fante Jr. *et al.*, 1999; Freitas *et al.*, 2008), pois está directamente relacionado ao volume potencial do solo para absorção de água e nutrientes (Ramos *et al.*, 2009). Com o objectivo de melhorar o rendimento usando sistemas e técnicas de manejo acessíveis aos agricultores e perceber como o sistema radicular da cultura do milho comporta-se em condições de cultivo consociado, que associadas as condições de baixa disponibilidade de água e nutrientes, representam as condições que predominam nos sistemas agrícolas das pequenas explorações agrícolas no país.

O aumento da cooperação entre as culturas nos sistemas consociados e a obtenção de maior produtividade do sistema com os poucos recursos disponíveis é imprescindível, no entanto, também existe a necessidade de aprofundar e ampliar os conhecimentos a respeito do efeito da irrigação e da adubação nitrogenada no desenvolvimento radicular das plantas consociadas, em condições de disponibilidade de água e de nutrientes. Este conhecimento permitirá aumentar a produção por unidade de área e possibilitar uma adequada orientação sobre a gestão da água e da fertilidade do solo e assegurar uma agricultura irrigada bem sucedida.

1.3. Objectivos

Geral

- Avaliar o efeito da irrigação e adubação nitrogenada sobre o desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.) consociado com Feijão Nhemba (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

Específicos

- Determinar a densidade radicular em função dos níveis de irrigação e adubação nitrogenada;
- Determinar a razão raiz parte: aérea da cultura de milho nos diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada;
- Analisar a relação entre a biomassa aérea e biomassa radicular e entre o rendimento do grão e a palha da cultura de milho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultura do Milho (*Zea mays* L.)

2.1.1. Aspectos gerais

O milho é uma monocotiledónea anual de crescimento erecto pertencente à família Gramineae/Poaceae, originária do teosinto, *Zea mays*, subespécie mexicana (*Zea mays ssp. mexicana* (Schrader) Iltis), cultivada em várias partes do mundo (Barros & Calado, 2014; Magalhães, 1995).

O milho é um cereal de grande importância económica mundial usado para o consumo humano, animal e para indústria. A precipitação, temperatura, radiação solar e fotoperiodismo afectam o crescimento e desenvolvimento do milho, porém em Moçambique a precipitação e a temperatura são os mais importantes (Fato *et al.*, 2011).

O milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm, sendo que a quantidade de água consumida por uma planta de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm (Magalhães & Durães, 2006).

2.1.2. Estágios de desenvolvimento da cultura do milho

O desenvolvimento do milho divide-se em estágios vegetativos (V) e estágios reprodutivos (R), conforme mostra a figura 1. As subdivisões dos estágios vegetativos são designados como V1, V2, V3 até V (n), onde cada estágio é definido de acordo com a formação visível do colar na inserção da bainha da folha com o colmo e (n) representa a última folha emitida antes do pendoamento (VT). O primeiro e o último estágio V são representados por VE (emergência) e VT, respectivamente (Magalhães & Durães, 2006).

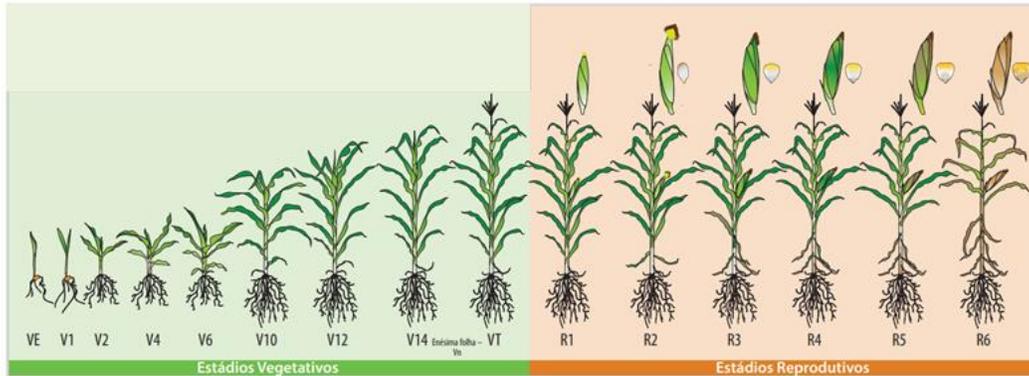


Figura 1: Estágios de desenvolvimento da cultura do milho.

Fonte: Ciampitti *et al* (2016)

Emergência (VE) à quinta folha (V5)

No estágio de emergência ocorre a emergência da radícula, dependendo das condições de temperatura e humidade do solo, de seguida coleóptilo emerge a partir do embrião da semente e ocorre o alongamento do mesocótilo. O mesocótilo encontra-se anexo à plúmula que se abre ao mesmo tempo em que a estrutura atinge a superfície do solo (Ciampitti *et al.*, 2016). No estágio primeira folha (V1), a primeira folha com colar visível e ponta arredondada, a partir desse ponto até o florescimento (R1), os estágios vegetativos são definidos a partir da última folha bem desenvolvida com colar visível. O meristema apical da planta é localizado abaixo da superfície do solo (Ciampitti *et al.*, 2016). No estágio quarta folha (V4), o sistema radicular nodal é dominante, ocupando maior volume de solo em comparação com as raízes seminais. As folhas ainda se desenvolvem no meristema apical (Ciampitti *et al.*, 2016; Magalhães & Durães, 2006).

Sexta folha com colar visível (V6) à décima folha (V10)

Durante o estágio sexta folha (V6), a primeira folha com ponta arredondada apresenta-se em senescência, mas mesmo assim deve ser levada em consideração na contagem. Nesta fase, o ponto de crescimento emerge e encontra-se acima da superfície do solo. Todas as estruturas da planta já tiveram seu crescimento iniciado. Entre a sexta folha (V6) e a décima folha (V10), o potencial do número de fileiras por espiga é determinado. A altura da planta aumenta conforme o alongamento do caule e o sistema radicular nodal desenvolvem-se nos nós localizados abaixo da superfície do solo (Ciampitti *et al.*, 2016).

Pendoamento (VT)

No estágio pendoamento (VT) é definido o potencial número de grãos por fileira na espiga, o potencial do número final de grãos e o potencial do tamanho das espigas começa a ser definido, último ramo do pendão é visível no topo da planta. O estilo estigma do milho pode ou não ter aparecido nesta fase, a planta apresenta-se próxima à sua altura máxima (Ciampitti *et al.*, 2016). A necessidade de nutrientes (K > N > P) e água (7,5 mm/dia) está próxima do seu máximo e o stress hídrico e temperaturas elevadas podem reduzir drasticamente o rendimento (Ciampitti *et al.*, 2016).

Embonecamento e Polinização (R1) á Grão Leitoso (R3)

No estágio de embonecamento e polinização (R1), começa o florescimento, quando o estilo estigmase projecta para fora da palha, os primeiros a emergirem são responsáveis pela polinização dos grãos da base da espiga. O estilo estigma mantém-se activos até a polinização. O pólen vai do pendão até o estilo estigma do milho, fertilizando o óvulo produzindo um embrião. O potencial número dos grãos é determinado e a altura máxima da planta é atingida (Ciampitti *et al.*, 2016).

No estágio Grão bolha d'água (R2), o estilo-estigma do milho escurece e começa a secar (aproximadamente 12 dias após o embonecamento e polinização), os embriões se desenvolvem em grão e inicia-se o enchimento de grão. Durante o estágio grão leitoso (R3) o estilo estigma do milho seca (aproximadamente 20 dias após o embonecamento e polinização), o grão torna-se amarelado e um fluido semelhante ao leite pode ser extraído quando este é esmagado com os dedos. Este fluido é o resultado do processo de acúmulo de amido dentro do grão (Ciampitti *et al.*, 2016).

Grão Pastoso (R4)

No estágio grão pastoso, ocorre o acúmulo de amido o grão apresenta consistência pastosa (aproximadamente 26 a 30 dias após o embonecamento e polinização). Nesta fase ocorre um rápido acúmulo de nutrientes e amido, o grão contém 70% de humidade e começa a se apresentar dentado no topo. Material extraído do grão apresenta uma consistência pastosa (Ciampitti *et al.*, 2016; Magalhães & Durães, 2006).

Formação de Dente (R5) e Maturidade Fisiológica (R6)

No estágio de formação de dente, a maior parte dos grãos estão dentados, a umidade do grão reduz para 55% (38 a 42 dias após o embonecamento e polinização) e o conteúdo de amido aumenta. Durante o estágio de maturação fisiológica, a camada preta se forma na base do grão, bloqueando os nutrientes da planta e o movimento de matéria seca para os grãos (50 a 60 dias após o embonecamento e polinização). O grão atinge a sua maior massa seca (30 a 35% de umidade) e encontram-se fisiologicamente maduros (Ciampitti *et al.*, 2016; Magalhães & Durães, 2006).

2.1.3. Sistema radicular

O sistema radicular representa um importante componente funcional e estrutural da planta (Magalhães & Durães, 2006). O milho possui três tipos de raízes, a raiz primária que é originária do embrião que corresponde à radícula e aprofunda-se no solo em sentido vertical, as raízes secundárias surgem após as raízes primárias e apresentam uma grande capacidade de ramificação e a raiz primária desintegra-se. De seguida, surgem as raízes adventícias partindo dos primeiros nós do colmo e quando atingem o solo ramificam-se intensamente (Barros & Calado, 2014).

O hábito de crescimento do sistema radicular do milho é superficial, a maior parte das raízes encontra-se nos primeiros 20 cm do solo (Neto *et al.*, 2013; Magaia *et al.*, 2015), assim sendo o milho tem reduzida tolerância a seca (Magalhães *et al.*, 1996; Magalhães & Durães, 2006).

Os factores como pH do solo, umidade do solo e a compactação do solo influenciam a profundidade do sistema radicular, além desses factores o suprimento de carboidratos produzidos e acumulados na parte aérea influenciam o crescimento do sistema radicular (Magalhães *et al.*, 1996; Magalhães & Durães, 2006).

2.2. Efeito da irrigação no desenvolvimento radicular e no rendimento do grão

A irrigação tem impacto no crescimento das raízes e da parte aérea (Magaia *et al.*, 2015), na medida que as condições de stress hídrico induzem a inibição do crescimento das partes aéreas favorecendo o aumento considerável do crescimento do sistema radicular (Tissi, 2001; Magalhães & Durães, 2006).

A sensibilidade da cultura ao stress hídrico em certos estágios pode ter um impacto muito grande no rendimento (Magaia *et al.*, 2015), os estágios de desenvolvimento da planta em que o stress hídrico mais afecta a produção de grão são o início da floração e o desenvolvimento da inflorescência, porque é nesta fase que é determinado o número potencial de grãos, o período de fertilização (Magalhães & Durães, 2006; Barros & Calado, 2014). A absorção, o transporte e a consequente transpiração de água pelas plantas são consequência da evapotranspiração potencial, resistência estomática e difusão de vapor, água disponível no solo e densidade de raízes que a planta apresenta (Magalhães & Durães, 2006; Barros & Calado, 2014).

2.3. Efeito da adubação no desenvolvimento radicular e no rendimento do grão

O sistema radicular das culturas é conhecido por ser altamente sensível à disponibilidade de nutrientes e distribuição no solo possivelmente devido às variações no desenvolvimento da arquitectura raiz em resposta à aplicação de Nitrogénio sendo em grande parte dependente do tipo de solo e espécie cultivada (Chilundo, 2017).

O nitrogénio tem um papel importante no crescimento do sistema radicular, assim como da parte aérea, pois participa na composição dos aminoácidos, proteína, clorofila e muitas enzimas essenciais que estimulam o crescimento (Shafique *et al.*, 2020), a absorção máxima deste nutriente é atingido na fase de desenvolvimento vegetativo e fase de desenvolvimento reprodutivo, e as menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (Chilundo, 2017).

A adubação nitrogenada determina maior crescimento das partes aéreas e a inibição do crescimento do sistema radicular (Magalhães & Durães, 2006). Magaia *et al.* (2015) referenciam que, a adubação pode ser pouco confiável em um sistema de sequeiro e que o adubo só tem efeito em combinação com a irrigação.

O nitrogénio destaca-se como o macronutriente requerido em maior quantidade na cultura do milho, sendo o que mais limita a rendimento do grão, exerce influência sobre o rendimento devido às modificações ocorridas na planta em função das quantidades absorvidas desse nutriente. Mendonça *et al.* (1999) verificaram que, a produção de grãos alcançou um valor máximo na dose de 262,59 kg/ha, declinando com o aumento da dose de nitrogénio, mostrando que um excesso de nitrogénio pode causar diminuição no rendimento da cultura.

2.4. Efeito do sistema de cultivo no desenvolvimento radicular e no rendimento do grão

Os sistemas de consociação entre gramíneas e leguminosas proporcionam maior biomassa, em relação ao cultivo puro, maior estímulo na fixação biológica de N₂, pela leguminosa, e maior eficiência na utilização de água e nutrientes disponíveis no solo, devido à exploração de diferentes volumes de solo por sistemas radiculares com padrões distintos (Collier *et al.*, 2011).

Almeida (2017) referencia que, a consociação aumenta a cobertura na superfície do solo potencializando os processos de aproveitamento de água, melhorando as condições de conservação da humidade do solo, chegando ao ponto de aumentar o rendimento do milho cultivado em sequeiro, principalmente quando as condições ambientais são instáveis, também referencia que sistemas consociados entre gramíneas e leguminosas são capazes de aumentar a quantidade de macroporos no solo favorecendo o aprofundamento do sistema radicular da cultura consociada.

Junior *et al.* (2009) constataram que, no milho em consociação, assim como no milho puro, a maior partes das raízes encontravam-se até 20 cm no estágio V7, constataram também que, o milho em consociação aprofundou percentualmente mais raízes para uma mesma profundidade efectiva quando comparado com o milho puro, este facto pode ser explicado pela competição por água e nutrientes, observou-se que 80% do sistema radicular se aprofunda até 10 cm e 23 cm cultivo puro e consociado, respectivamente.

Souza *et al.* (2011) referem que, a produção média do milho, em consociação com o feijão nhemba, teve um decréscimo de 13% em relação ao cultivo puro, refere também que na cultura do milho, em ambos os sistemas de cultivo, houve redução na produção de grãos da ordem de 57% para o tratamento de 0% da ETc, quando comparadas ao tratamento 125% da ETc.

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição da área de estudo

O experimento de campo decorreu no Centro desenvolvimento agrário de Sábìe (CEDAS), localizado na zona norte da província de Maputo (25° 19' 08.0"S, 32° 15'55,3"E), distrito de Moamba, posto administrativo de Sábìe, durante a época quente e fresca (Fevereiro a Agosto) de 2023.

Os solos predominantes no distrito da área de estudo são de origem aluvionar e basáltico, vermelhos, pedocálicos, pardos, hidromórficos, planos de textura média e profundidades que variam de marginal á boa e os solos dos vales do Incomáti e do Sábìe são aluvionares e têm fertilidade média a elevada mostrando uma boa aptidão agrícola (MAE, 2005).

O clima predominante é do tipo BS (clima seco de estepe), segundo a classificação de Koppen, a precipitação media anual é de cerca de 590 mm, apresentando duas estações, uma quente com 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).

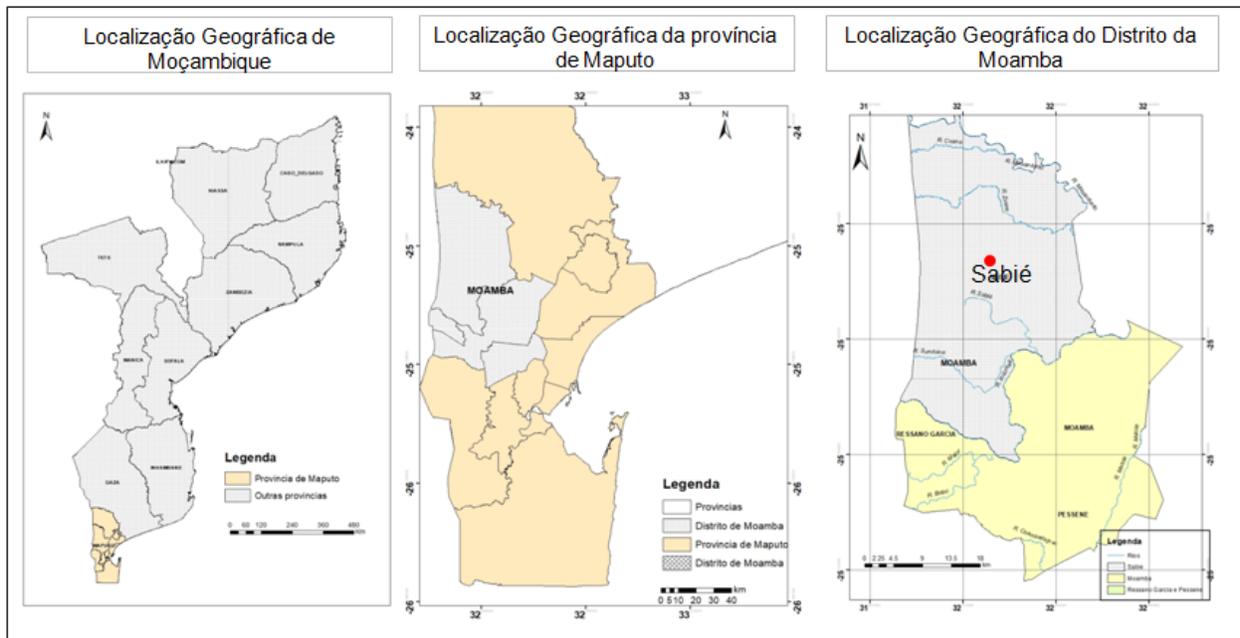


Figura 2: Localização geográfica da área de estudo

3.2. Desenho experimental

O experimento foi conduzido seguindo um delineamento de blocos completos casualizados (DBCC) em arranjo factorial com três factores. Os tratamentos foram 2 níveis relativos aos sistemas de cultivo (milho puro e milho consociado), 2 níveis relativos a adubação nitrogenada (sem adubação de cobertura e adubado a 166 ton/ha de N) e 2 níveis relativos à irrigação (sequeiro e irrigado), conforme ilustra a tabela, obtendo um factorial de 2x2x2 onde temos 8 combinações possíveis em cada bloco, com 4 blocos totalizando 32 talhões com dimensões de 12,8m² (4m x 3.2m) separados em caminhos de 0,5m e 1m entre os talhões e blocos, respectivamente.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos do experimento em cada bloco, factor sistema de cultivo 0 = milho puro e 1 = milho consociado, factor adubação 0 = sem adubação de cobertura e 1 = adubado a 166 kg/ha de N, factor irrigação 0 = sequeiro e 1 = irrigado.

Trat.	Designação	Descrição dos tratamentos	Factor irr.	Factor adubação	Factor s. de cultivo
1	MN0I0	Cultivo puro de milho, sem adubação de cobertura e sequeiro.	0	0	0
2	100M50CN0I0	Cultivo consociado de 100% de Milho e 50 % de feijão nhemba, sem adubação de cobertura e irrigado.	0	0	1
3	MN1I0	Cultivo puro de milho, adubado a 166 kg/ha de N e sequeiro.	0	1	0
4	100M50CN1I0	Cultivo consociado de 100% de Milho e 50 % de feijão nhemba, adubado a 166 kg/ha de N e irrigado.	0	1	1
5	MN0I1	Cultivo puro de milho, sem adubação de cobertura e irrigado.	1	0	0
6	100M50CN0I1	Cultivo consociado de 100% de Milho e 50 % de feijão nhemba, adubado a 166 kg/ha de N e irrigado.	1	0	1
7	MN0I1	Cultivo puro de milho, adubado a 166 kg/ha de N e sequeiro.	1	1	0
8	100M50CN1I1	Cultivo consociado de 100% de Milho e 50 % de feijão nhemba, adubado a 166 kg/ha de N e irrigado.	1	1	1

O sistema de irrigação foi por aspersão com espaçamento entre aspersores de 15×15m e o primeiro e último aspersor está a 3,5m da bordadura, a uniformidade de distribuição de água foi definida pelo perfil de distribuição dos aspersores utilizados e pela sua disposição no campo, aplicando água em níveis decrescentes na direcção perpendicular à linha dos aspersores, assim sendo o nível óptimo (I1) de irrigação encontrava-se perto da linha de aspersores e o sequeiro (I0) fora do alcance dos aspersores.

Na área de estudo, no ano de 2017 foi avaliada a produtividade de 15 variedades de milho cultivadas à diferentes níveis de disponibilidade hídrica, nos anos seguintes foi cultivado milho e no último ano antes da montagem do ensaio foi deixado em pousio.

3.3. Determinação da distribuição de água e das necessidades de água de rega

O campo experimental apresenta 2 linhas de aspersores fixas e realizou-se no campo o teste de uniformidade, que consistiu na colocação de 72 colectores de água (latas) de 330ml dispostos em 2 linhas simétricas e perpendiculares a linha de aspersão em todos os aspersores das extremidades, 18 colectores equidistantes em 1m foram colocados em cada linha, a fim de determinar-se a taxa de precipitação dos aspersores no tempo determinado de 60 minutos.

Para a estimativa das necessidades de água da cultura usou-se o programa CropWat 8.0 que forneceu a distribuição de água ao longo do ciclo da cultura (tabela 7 em anexo) e a necessidade de água requerida média de 3,12 mm/dia, determinada a partir da relação entre ET_0 e K_c estimada pela equação abaixo:

$$ETC = Kc \times ET_0$$

Onde: ETC - Evapotranspiração da cultura em *mm/dia*; Kc – Constante de cultura; ET_0 – Evapotranspiração de referência;

Devido as cheias e avaria da eletro-bomba na estação de bombagem a rega iniciou 20 dias depois da sementeira, com aplicação de uma dotação fixa de 11 mm para o intervalo de rega de 3 dias.

3.4. Variedades

A cultura estudada é o milho da variedade Matuba, é uma variedade de polinização aberta (designada por *open-pollinated variety* - OPV) lançada em Moçambique que apresenta ciclo curto (100-120 dias), tem rendimentos que variam de 5 a 6 ton/ha, além disso, é tolerante a seca (Come & Neto 2017). A cultura de feijão nhemba (*Vigna unguiculata (L.) Walp.*) da variedade Nhassenje que é uma variedade prostrada, com crescimento indeterminado e sensível ao fotoperiodismo (Gimo, 2008).

3.5. Condução do ensaio

A preparação do solo foi realizada 30 dias antes da sementeira, seguida demarcação dos talhões no campo experimental com estacas de madeira seguindo o “layout” identificando devidamente os blocos e os talhões, como também os caminhos perpendiculares a linhas dos aspersores e instalação dos pluviómetros e Tinytag TV-4500 (registador de temperatura e humidade relativa com display e sensores embutidos).

A sementeira foi feita no dia 28 de Fevereiro de 2023, simultaneamente com a adubação de fundo usando o adubo composto N-P-K (1:1:1) na dosagem de 84 Kg/ha de N. A adubação de cobertura foi realizada no dia 24 de Abril de 2023 usando ureia (46% N) a uma dose de 166 Kg/ha de N.

A retanchar foi realizada 7 dias após a sementeira principalmente na cultura do milho onde observou-se muitas falhas na germinação, depois da emergência uniformes das duas culturas realizou-se o desbaste. A densidade de sementeira pretendida foi de 41 666 plantas/ha para o cultivo puro e 62 500 plantas/ha para o cultivo consociado, com uma distância entre linhas de 80 cm e a distância entre plantas de milho de 30 cm para o cultivo puro. O cultivo consociado foi feito pela adição de plantas de feijão nhemba entre as linhas de milho, numa taxa de 1,6 m entre linhas e 0,3 m entre plantas na linha de feijão nhemba.

A primeira aplicação de pesticida foi feita 17 DDS usando o produto Karate 50%CS com a dose de 220ml/ha, a segunda aplicação foi feita 26 DDS usando o produto Belt 48%SC na dose de 1,6ml/l_{H2O}, e a terceira aplicação foi feita 35 DDS usando o produto Belt na dose 1,6ml/l_{H2O},

todas as aplicações tinham o objectivo de controlar pragas principalmente a lagarta do funil do milho (*Spodoptera frugiperda*).

As sachtas foram realizadas 3 vezes ao longo do ciclo da cultura para o controle de infestantes, a primeira sachtas foi realizada 15 dias depois da sementeira, a segunda sachtas fez-se 45 dias depois da sementeira e a última sachtas apenas na cultura do milho 65 dias depois da sementeira.

3.6. Métodos de amostragem

3.6.1. Medição da densidade radicular

As amostras para determinação da densidade radicular foram colectadas nos seguintes estágios de desenvolvimento da cultura, sétima folha com colar visível (V7), pendoamento (VT) e grão pastoso (R4) conforme ilustra a figura 3. A amostragem para a BA e BR foi feita usado um método destrutivo, portanto não é desejável que as amostragens estejam tão próximas, para minimizar os efeitos distribuiu-se as fases de desenvolvimento de modo que uma amostragem não afecte o resultado da outra.

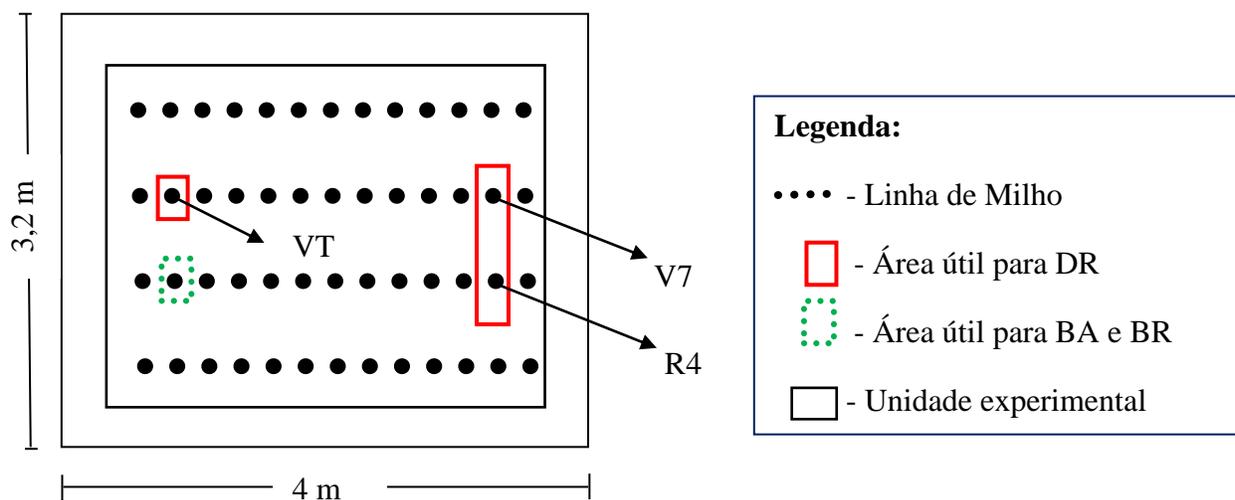


Figura 3: Amostragem para determinação da densidade radicular (DR) e amostragem para a medição da biomassa aérea e da raiz (BA e BR).

A Sonda de raízes é um equipamento que serve para a obtenção de amostras volumétricas de solo-raiz, com a finalidade de obter a densidade das raízes. Este equipamento possui ponta serrilhada, um cilindro com 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro, um cilindro volumétrico de

1.178 cm³ e é cravada usando um martelo. Usando a sonda de raízes fez-se a colecta de 3 amostras em diferentes profundidades 0 - 15 cm, 15 - 30 cm, 30 - 45 cm em todos tratamentos. Em um ponto na projecção da linha da cultura a uma distância de 15 cm da planta conforme ilustra a figura 4, colocou-se a sonda no ponto e girou-se fazendo uma pressão e com ajuda do martelo cravou-se até atingir 15 cm de profundidade, ou seja, o limite do cilindro da sonda é atingido estando o cilindro rente ao solo para a primeira amostra de 15 cm de profundidade, e assim sucessivamente para todas as profundidades, antes de se fazer a amostragem é necessário limpar as impurezas (folhas secas, infestantes) a superfície do solo em que pretende fazer a amostragem.

Para retirar as amostras do cilindro foi usado um saco plástico e envolveu-se o cilindro e com a manivela girou-se fazendo a camada de solo sair do cilindro, seguida do empacotamento de cada amostra, sua identificação (bloco, tratamento e a profundidade).

Posteriormente foram lavadas as raízes obedecendo a seguinte sequência de operações, embebedamento em um recipiente com água e solução diluída de detergente, e depois lavando com água corrente para remover o solo aderido cuidadosamente para evitar a perda de raízes, e por fim com água corrente para a separação do solo e raiz usando crivos de 2 mm e 250 µm durante a lavagem das raízes para colher as raízes grossas e finas, respectivamente. De seguida fez-se a colocação das raízes em cartuchos de papel, fechou-se e etiquetou-se, deixando-as secar ao ar livre sem retirar dos cartuchos de papel até que o peso se manteve constante. Tendo se determinado a densidade da massa seca da raiz com os resultados expressos em massa seca de raiz por unidade de volume conforme ilustra a tabela 8 em anexo (Neto *et al.* 2013; Zafar-ul-Hye *et al.*, 2015).

$$DMSR = \frac{PSR}{VS}$$

Onde: DMSR – densidade da massa seca da raiz (mg/cm³) PSR – Peso seco da raiz (mg) VS – Volume da sonda (cm³)



Figura 4: Procedimentos de colecta de amostras da densidade radicular

3.6.2. Medição da biomassa parte aérea e subterrânea

As amostras foram colectadas no estágio de desenvolvimento grão pastoso (R4) da cultura. Para a medição da biomassa da parte aérea e subterrânea, primeiramente identificou-se uma planta usando como base o esquema ilustrado na figura 3, de seguida cortou-se a parte aérea da planta (do colo) com uma catana deixando ela de lado, e o sistema radicular foi escavado de seguida recorrendo a uma pá recta e uma curva, onde retirou-se um bloco de solo contendo raízes, numa área de 0,15 m entre as plantas e 0,4 m entre linhas e uma profundidade de 0,6 m.

Posteriormente colocou-se em 2 sacos o volume de solo para cada tratamento, e em uma banheira contendo água colocou-se o bloco de solo para remoção do excesso de solo e sobre um crivo lavou-se as raízes usando água corrente para capturar as raízes mais finas e quando separou-se completamente as raízes do solo colocou-se em cartuchos de papel, sua etiquetagem e depois seguiu-se com a secagem ao ar livre até que o peso mantivesse constante (Figura 5).

A parte aérea foi recortada em 3 segmentos, de seguida colocou-se em sacos, sua etiquetagem e depois seguiu-se com a secagem ao ar livre até que o peso mantivesse constante, fornecendo dados (ilustrados na tabela 9 em anexo) que nos permitam determinar a razão raiz: parte aérea (Magaia, 2017; Shafique *et. al.*, 2020).

$$RRPA = \frac{BR}{BPA}$$

Onde: RRPA- razão raiz: parte aérea; BR- biomassa da raiz (ton/ha); BPA- biomassa da parte aérea (ton/ha).



Figura 5: Procedimentos de colecta de amostras da biomassa parte aérea e subterrânea.

3.6.3. Medição das componentes de rendimento

As componentes do rendimento foram avaliadas por tratamento e em cada bloco na época da colheita quando a planta de milho estava seca. A área de colheita foi de 2,88 m² (1,8 m x 1,6 m), onde escolheu-se 2 linhas centrais, contendo 12 plantas na área útil conforme ilustra a figura 6. As componentes do rendimento medidos foram: peso da espiga, biomassa seca, peso do caroço, peso do grão.

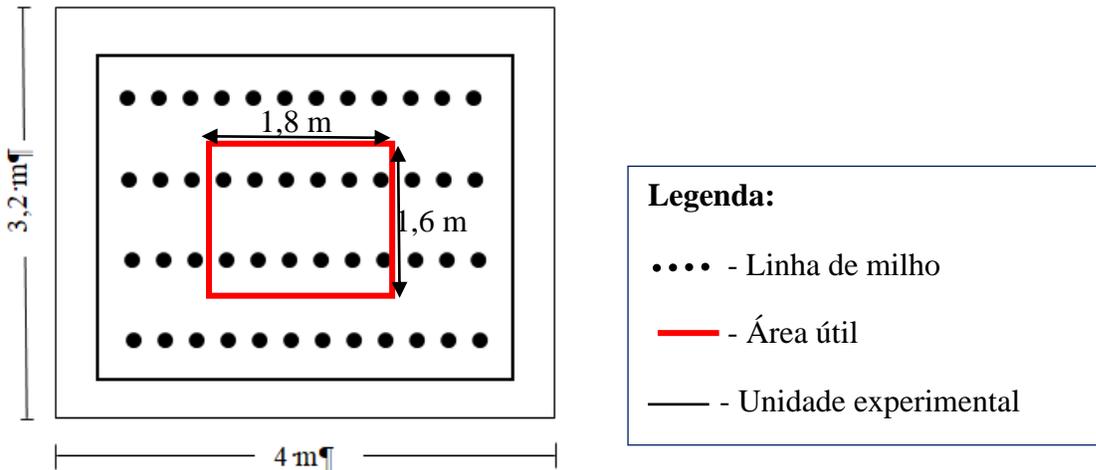


Figura 6: Área útil para amostragem dos parâmetros de rendimento.

Na colheita fez-se a contagem de todas as plantas, a contagem das espigas por planta, colheita das espigas na área útil, sua pesagem e registo. Posteriormente, fez-se um corte rente ao solo nas plantas de milho retirando a parte área da planta, introduzindo-as em sacos de 50 kg para posterior pesagem e determinação da biomassa aérea. De seguida deixou-se secar as espigas em lugar seco e livre de pragas até que o peso mantivesse constante, e secou-se também na estufa até a humidade de 13% e fez-se a debulha para posterior pesagem dos caroços e do grão, com o auxílio de uma balança digital de precisão de 0,01 g e determinou-se o rendimento do grão em toneladas por hectare e o índice de colheita mostrados na tabela 10 em anexo.

$$RG = \frac{Rg \times 10\,000}{\text{Área útil}}$$

Onde: RG (ton/ha) - rendimento do grão em toneladas por hectare; Rg (ton) – rendimento em toneladas;

$$HI = \frac{RG}{BA}$$

Onde: HI - Índice de Colheita; BA (ton/ha) – Biomassa da parte aérea em toneladas por hectare; RG (ton/ha) - Rendimento do grão em toneladas por hectare;

3.7. Análise de dados

A análise de dados foi feita para as seguintes variáveis: densidade radicular, biomassa radicular, a biomassa aérea, RRPA, o rendimento do grão, índice de colheita, usando o modelo estatístico é expresso como:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \theta_k + \beta_l + (\alpha\tau)_{ij} + (\alpha\theta)_{ik} + (\tau\theta)_{jk} + (\alpha\tau\theta)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Y_{ijk} - Densidade radicular / RRPA / Rendimento do grão observado no bloco k que recebeu o nível i do factor sistema de cultivo, o nível j do factor adubação nitrogenada e o nível k do factor irrigação.

μ - Média geral

α_i - Efeito do nível i do factor sistema de cultivo

τ_j - Efeito do nível j do factor adubação nitrogenada

θ_k - Efeito do nível k do factor irrigação

$(\alpha\tau)_{ij}$ - Efeito da interacção entre o nível i do factor sistema de cultivo e o nível j do factor adubação nitrogenada

$(\alpha\theta)_{ik}$ - Efeito da interacção entre o nível i do factor sistema de cultivo e o nível k do factor irrigação

$(\tau\theta)_{jk}$ - Efeito da interacção entre o nível j do factor adubação nitrogenada e o nível k do factor irrigação

$(\alpha\tau\theta)_{ijk}$ - Efeito da interacção entre o nível i do factor sistema de cultivo, o nível j do factor adubação nitrogenada e o nível k do factor irrigação

β_l - Efeito do bloco l

ε_{ijkl} - Erro experimental $\sim N(0; \sigma^2)$

3.7.1. Teste de pressupostos e ANOVA

A análise de dados foi realizada usando o Microsoft Excel para a organização dos dados e a posterior análise descritiva, construção de gráficos e tabelas, e usando o programa STATA 14.2 para correr-se a ANOVA (com base no teste de Fisher) e de seguida validou-se a ANOVA pelo teste dos pressupostos de normalidade (ShapiroWilk) e heteroskedasticidade (BreuschPagan). Para casos em que a ANOVA mostrasse que pelo menos um dos tratamentos tem efeito diferente dos restantes na média, seguia-se com o teste de médias (Tukey) a um nível de significância de 5% a com a finalidade de identificar os pares de médias com diferenças significativas.

3.6.2. Correlação

Para aferir o grau de relacionamento entre a biomassa aérea e o rendimento do grão como variável resposta (y) com uma das seguintes variáveis biomassa radicular e a palha como variáveis independentes (x), foi realizada a análise de correlação que varia de 1 á -1, e os coeficientes são interpretados como ilustra a tabela abaixo, usando o Microsoft Excel para o cálculo dos coeficientes de correlação.

Tabela 2: Descrição dos coeficientes de correlação

Coeficiente de correlação (+/-)	Descrição
1 – 0,9	Relação muito forte positiva/negativa
0,7 – 0,9	Relação forte positivo/negativa
0,5 – 0,7	Relação moderada positiva/negativa
0,3 – 0,5	Relação fraca positivo/negativa
0 – 0,3	Relação desprezível positiva/negativa

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

4.1. Distribuição da precipitação e variação da temperatura durante o ensaio

A figura abaixo ilustra a distribuição da precipitação e a temperatura mínima e máxima durante o ciclo da cultura. Durante o ciclo da cultura registou-se 177 mm de precipitação, com maior incidência para o período compreendido de Fevereiro a Março, a maior precipitação diária foi registada 69 DDS (Maio) com uma precipitação de 25 mm. A temperatura máxima e mínima observada ao longo do ciclo da cultura foi de 39,7 °C e 8 °C, respectivamente.

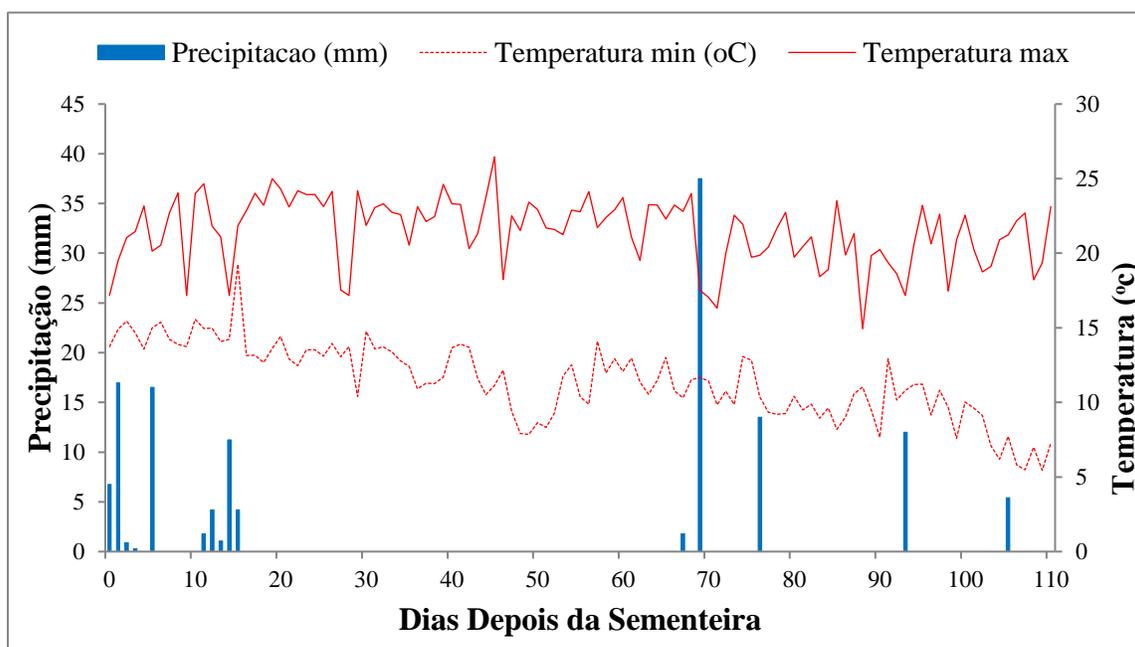


Figura 7: Distribuição da precipitação e variação da temperatura durante o ciclo da cultura

O atraso no começo da irrigação durante a implementação do ensaio afectou ligeiramente o rendimento da cultura, pois a precipitação contribuiu na satisfação das necessidades de água durante este período, entretanto, resultou em problemas de estabelecimento da cultura, assim sendo, os valores das variáveis estudadas foram relativamente baixos, pelo que a sua avaliação deverá ter em foco relativo. A contribuição da precipitação foi reduzindo desde os 15 DDS resultando em stress hídrico nas fases críticas de absorção de água da cultura, como o início da floração 54 DDS conforme ilustra a tabela 3, onde não se verificou nenhuma precipitação afectando consideravelmente o rendimento da cultura no tratamento sequeiro.

Tabela 3: Estágios de desenvolvimento da cultura de milho durante o ensaio

Estágios de desenvolvimento	Dias Depois da Sementeira	Data
Emergência (VE)	6	06-Mar-2023
Quarta folha (V4)	15	15-Mar-2023
Quinta folha (V5)	23	23-Mar-2023
Sexta folha (V6)	26	26-Mar-2023
Sétima folha (V7)	31	31-Mar-2023
Oitava folha (V8)	38	07-Abr-2023
Pendoamento (VT)	54	21-Abr-2023
Embonecamento (R1)	61	28-Abr-2023
Grão pastoso (R4)	86	23-Mai-2023
Maturação fisiológica (R6)	110	16-jun-2023
Colheita	170	14-Ago-2023

No que diz respeito as necessidades de água totais da cultura, verifica-se que a quantidade de água total aplicada a cultura (Dotação e precipitação) foi de 364 mm, este valor aproxima-se dos 400 mm valor referido por Magalhães & Durães (2006) como valor médio para satisfação das necessidades de água da cultura ao longo do ciclo. A faixa óptima de rega recebeu 3,65 mm/hr e o sequeiro recebeu 0 mm/hr de água de rega.

4.2. Densidade radicular

Os resultados da tabela abaixo mostram o valor de p na ANOVA para densidade radicular sob efeito de diferentes níveis de irrigação, adubação e sistema de cultivo nas fases de desenvolvimento 7 folhas (V7), pendoamento (VT) e grão pastoso (R4), nas profundidades de 0-15 cm (A1), 15-30 cm (A2) e de 30-45 cm (A3). Os valores sublinhados têm $p < 0,05$, portanto, existem evidências que mostram que pelo menos um dos tratamentos tem efeito diferente dos restantes na densidade radicular média.

Tabela 4: O valor de p na ANOVA para densidade radicular (Dr) em diferentes fases de desenvolvimento para os tratamentos níveis de irrigação, adubação e sistema de cultivo. A1, A2 e A3, indicam respectivamente as profundidades do solo 0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm.

Tratamentos	Valor de p							
	V7_A1	V7_A2	VT_A1	VT_A2	VT_A3	R4_A1	R4_A2	R4_A3
Irrigação (I)	0,5028	0,6470	0,000	0,0155	0,0000	0,0000	0,0436	0,1488
Adubação (N)	0,2027	0,1165	0,0114	0,0240	0,0027	0,0100	0,0305	0,5329
Sistema de cultivo (M)	0,3812	0,1801	0,4191	0,3720	0,9426	0,2883	0,4481	0,2320
Irrigação × Adubação	0,1946	0,0204	0,7117	0,5496	0,0027	0,7201	0,2425	0,9705
I × M	0,8218	0,0169	0,0010	0,9202	0,9426	0,0005	0,8652	0,5819
N × M	0,3812	0,0841	0,0114	0,4858	0,9426	0,0138	0,6117	0,4654
I × N × M	0,5815	0,8323	0,9410	0,4858	0,9426	0,6165	0,1590	0,8846

Os níveis de irrigação (Figuras 8 e 9) mostraram diferenças estatisticamente significativas na densidade radicular na fase de pendoamento (VT) e na fase de desenvolvimento grão pastoso (R4). O nível de sequeiro mostrou menor profundidade radicular do que o nível irrigado nas fases pendoamento (VT) e grão pastoso (R4), sendo que, essa diferença é maior no milho em consociação (figura 8 e 9).

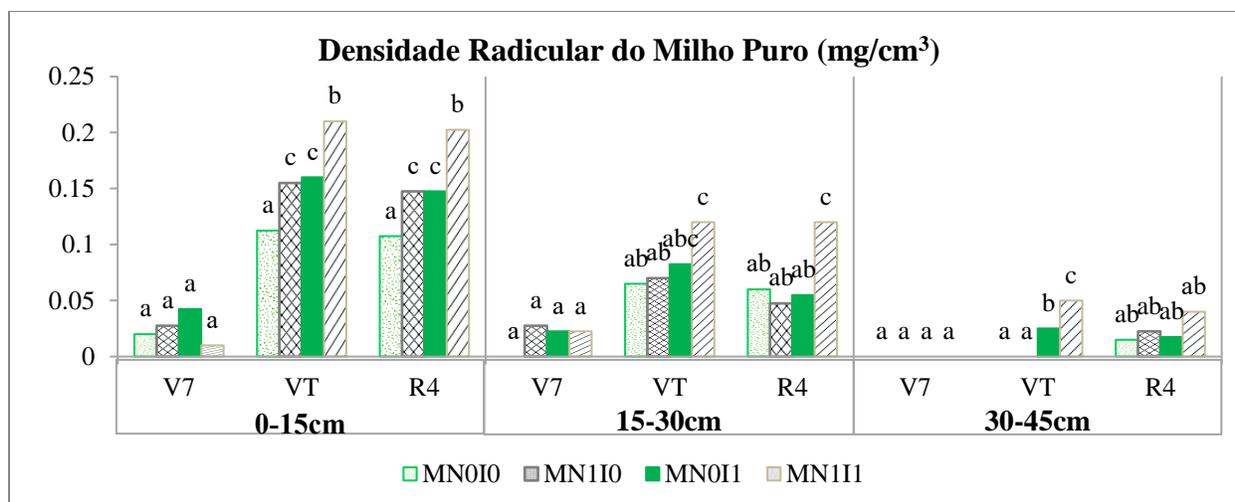


Figura 8: Efeito da irrigação e adubação na densidade radicular do milho puro nas fases de desenvolvimento de 7 folhas (V7), pendoamento (VT) e grão pastoso (R4), nas profundidades do solo 0-15 cm, 15-30 cm e 30- 45 cm, M = milho puro; N0= sem adubação de cobertura e N1= adubado a 166 Kg/ha de N; I0 = sequeiro e I1 = irrigado.

Por outro lado, como era de esperar, verificou-se o aumento da densidade radicular da fase de V7 para a fase de pendoamento (VT), tendo-se, porém, mantido inalterável até a fase de grão pastoso (R4). Essa tendência manteve-se com a profundidade, pois comportamentos similares são verificados na profundidade de 0-15 cm e 30-45 cm em ambos sistemas de cultivo.

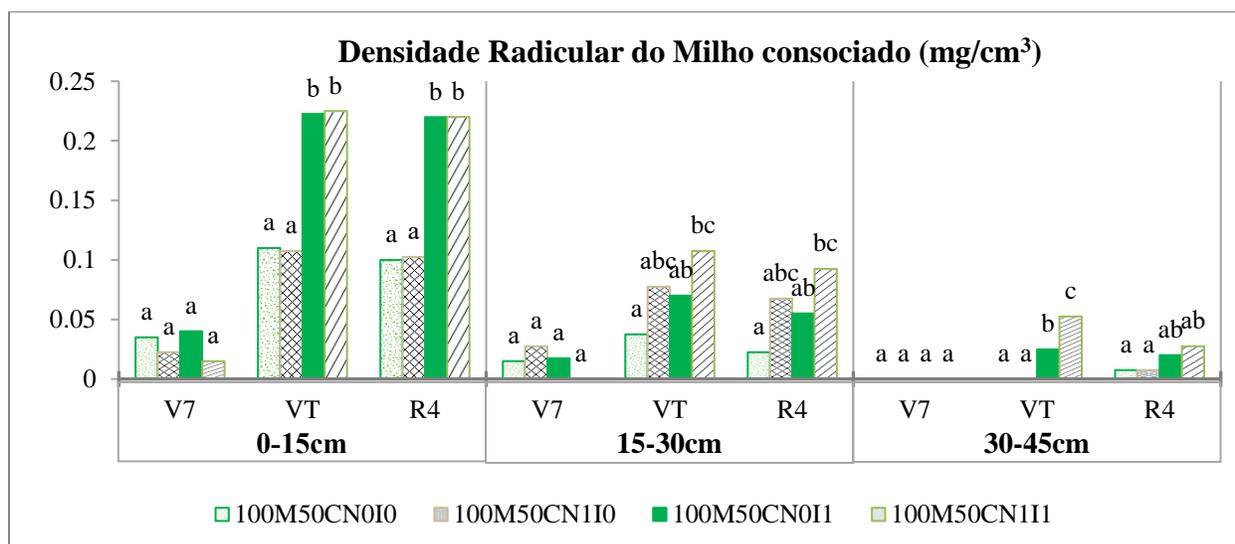


Figura 9: Efeito da irrigação e adubação na densidade radicular do milho consociado nas fases de 7 folhas (V7), pendoamento (VT) e grão pastoso (R4), nas profundidades 0-15 cm, 15-30 cm e 30- 45 cm, 100M50C = milho consociado; N0 = sem adubação de cobertura e N1 = adubado a 166 ton/ha de N; I0 = sequeiro e I1 = irrigado.

Na cultura de milho cerca de 60% da biomassa radicular estavam concentradas na primeira profundidade de solo (0-15 cm). Os dois níveis de irrigação tiveram a mesma quantidade de raízes na profundidade 0-15 cm (65%). Entretanto, o nível de sequeiro teve mais raízes que o irrigado na profundidade de solo 15-30 cm. Por outro lado, o nível sem adubação de cobertura apresentou maior biomassa radicular na profundidade 0-15 cm, e menor biomassa na profundidade 15-30 cm e o inverso acontece no nível com aplicação de 166 kg/ha de N (figura 10A e 10B).

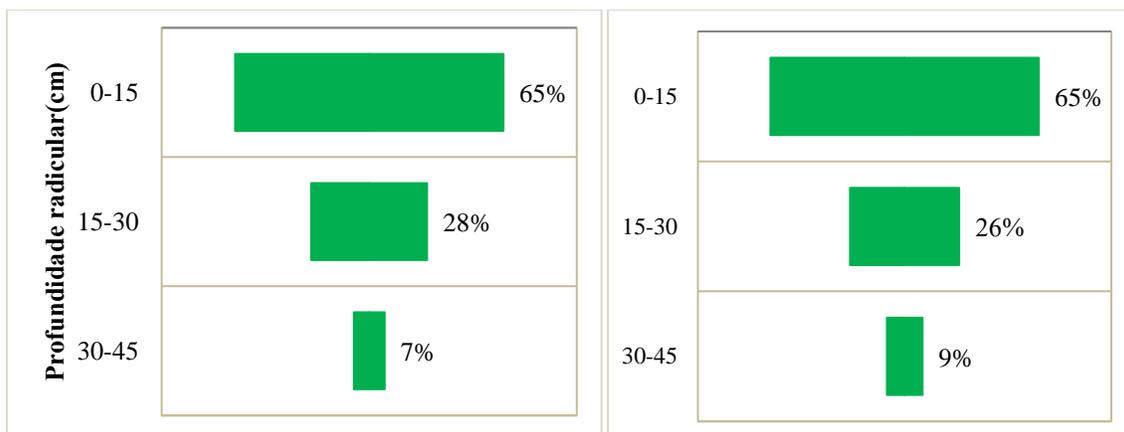


Figura 10A: Distribuição percentual da biomassa radicular da cultura do milho ao longo das profundidades do solo 0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm, na fase grão pastoso para os tratamentos sequeiro e irrigado, respectivamente.

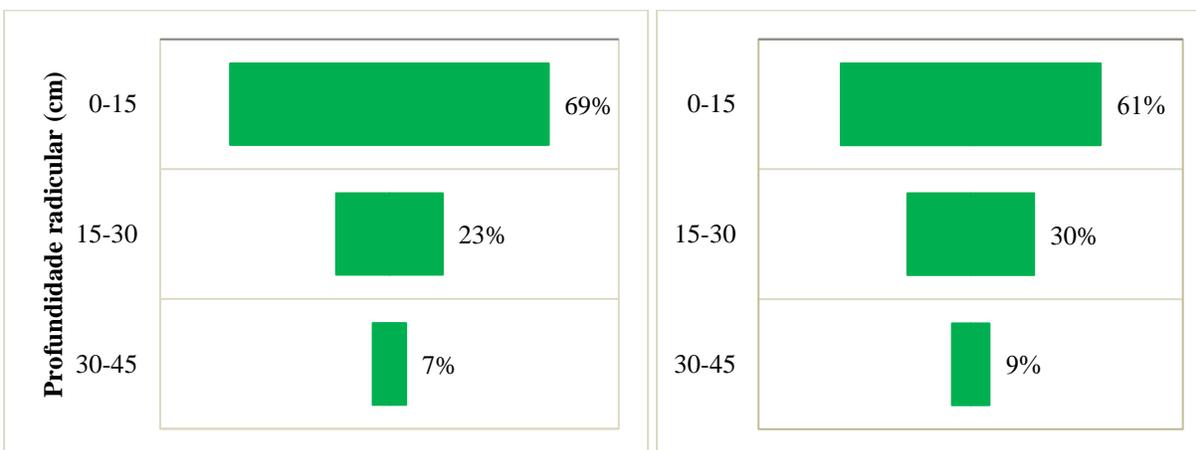


Figura 10B: Distribuição percentual da biomassa radicular da cultura do milho ao longo das profundidades do solo 0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm, na fase grão pastoso para os tratamentos não adubado e adubado, respectivamente.

Em termos gerais a densidade radicular diminui com o aumento da profundidade, Mangujo (2022) & Zaqueu (2017), observaram o mesmo resultado nos seus estudos. De acordo Junior *et al.* (2009), o milho em consociação, assim como no milho puro, a maior parte das raízes encontrava-se até 20 cm no estágio V7, colaborando com os resultados obtidos nesse estudo em que os primeiros 15 cm apresentaram maior densidade de raízes, Junior *et al.* (2009) constataram também que, o milho em consociação aprofundou maior percentagem de raízes para uma mesma profundidade efectiva quando comparado com o milho puro, este facto pode ser explicado pela competição por água e nutrientes.

Os factores irrigação e adubação proporcionaram diferenças estatisticamente significativas na densidade radicular nas fases VT e R4 em todas as profundidades excepto na profundidade 30-45 cm na fase R4. O nível irrigado aumentou a densidade radicular, estudos realizados por Magaia (2017), sustentam também que o crescimento radicular é influenciado pela dosagem de água aplicada, tendo aumentado o volume de raízes com a irrigação, Zaqueu (2017) por sua vez observou também que, a densidade radicular teve uma resposta positiva em relação a irrigação, com maiores valores de densidade radicular em todas as profundidades para os tratamentos que tiveram a irrigação em relação aos em sequeiro.

No que diz respeito ao factor adubação, o nível adubado proporcionou maior densidade radicular, excepto na fase VT profundidade 30-45 cm onde o nível não adubado proporcionou maior densidade radicular, Zaqueu (2017) por outro lado, observou maiores valores de densidade radicular em todas as profundidades para os tratamentos que tiveram a adubação em relação aos sem adubação.

O irrigado na fase V7 apresentou maior densidade na primeira profundidade do solo, o que de acordo com Chilundo *et al.* (2016), a rápida produção de maior densidade radicular na camada superficial do solo durante os estágios iniciais de desenvolvimento seguida pelo crescimento vigoroso da raiz principal, é crucial para absorção de água em camadas profundas e recuperação de nitrogénio, contribuindo na redução da lixiviação de N, o que resulta em maiores rendimentos.

4.3. Razão raiz: parte aérea (RRPA)

Os resultados da tabela abaixo mostram os valores de p na ANOVA para biomassa da parte aérea e radicular e para razão raiz: parte aérea sob efeito de diferentes níveis irrigação, adubação e sistema de cultivo para a cultura do milho. A interação entre os níveis dos factores irrigação e sistema de cultivo e entre os factores adubação e sistema de cultivo mostraram efeito significativo na biomassa radicular. Efeito significativo foi também observado pelo factor irrigação sobre a variável RRPA.

Tabela 5: O valor de p na ANOVA para biomassa aérea (BA), biomassa radicular (BR) e razão raiz: parte aérea (RRPA) para os tratamentos níveis de irrigação, adubação e sistema de cultivo.

Tratamentos	Valor de p		
	BA (Kg/ha)	BR (Kg/ha)	RRPA
Irrigação	0,0990	0,6173	0,0240
Adubação	0,0501	0,9851	0,5329
Sistema de cultivo	0,5481	0,6631	0,5134
Irrigação × Adubação	0,3565	0,9455	0,6777
Irrigação × Sistema de cultivo	0,7763	0,0076	0,8617
Adubação × Sistema de cultivo	0,7227	0,0371	0,6367
Irrigação × Adubação × Sistema de cultivo	0,8589	0,6929	0,7616

A biomassa radicular do sistema de cultivo milho puro adubado em sequeiro foi cerca de 2 146 kg/ha, 55% maior que o sistema milho consociado no sequeiro adubado sendo estatisticamente diferentes, por outro lado, a biomassa radicular do sistema de cultivo consociado no irrigado não adubado com cerca de 1 993 kg/ha, foi 56% maior que o cultivo puro nos mesmos tratamentos, porém não diferendo estatisticamente (figura 11).

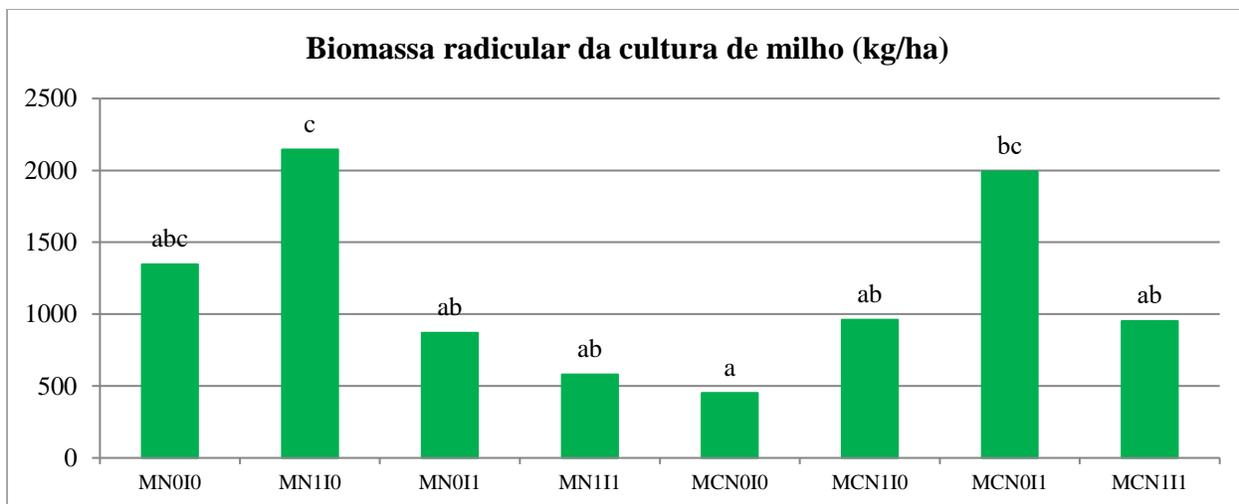


Figura 11: Efeito da irrigação e adubação na biomassa radicular no sistema de cultivo milho puro, M = milho puro; MC = milho consociado; N0 = sem adubação de cobertura e N1 = adubado a 166 Kg/ha de N; I0 = sequeiro e I1 = irrigado.

Nos níveis de irrigação estudados, o sequeiro proporcionou maior razão raiz parte aérea, aumentando cerca de 13% a razão raiz: parte aérea quando comparado ao irrigado, com cerca de 0,67 de RRPA (figura 12).

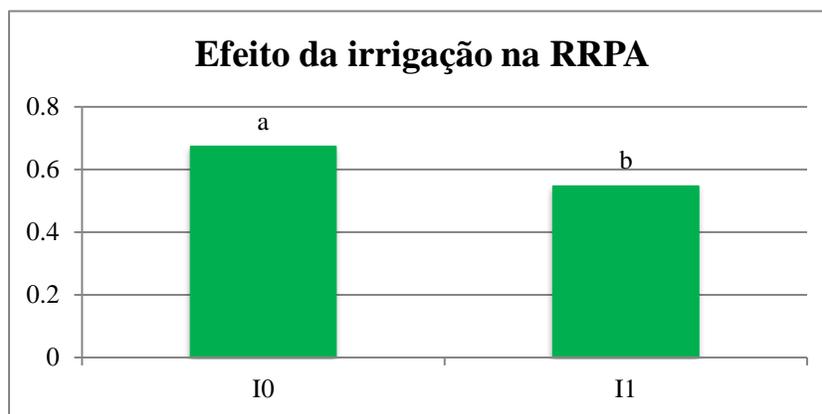


Figura 12: Efeito da irrigação na razão raiz parte aérea (RRPA). Onde: I0 = sequeiro e I1 = irrigado. Médias com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

Os resultados mostraram que, o milho consociado irrigado e não adubado apresentou maior biomassa radicular em relação ao milho puro irrigado e não adubado, mostrando com base no teste de DMS (diferenças médias significativas) diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas de cultivo (milho puro e milho consociado) nas mesmas condições de irrigação e adubação.

Segundo Almeida (2017), sistemas consociados entre gramíneas e leguminosas são capazes de aumentar a quantidade de macroporos no solo favorecendo o crescimento do sistema radicular da cultura consociada, por outro lado de acordo com Júnior *et al.* (2009), a competição por água e nutrientes faz com que os sistemas consociados apresentem maior biomassa radicular, as referências desses actores podem explicar em parte o facto do consociado e irrigado apresentar mais raízes do que o milho puro

Almeida (2017) referencia que, a consociação aumenta a cobertura na superfície do solo potencializando o uso da água, melhorando a retenção de água no solo, aumentando o rendimento do milho cultivado em sequeiro o que pode explicar em parte o facto do milho puro apresentar maior biomassa radicular que o milho consociado no sequeiro, assim sendo o milho consociado não desenvolve tanto o sistema radicular em busca de água o que acontece com o milho puro.

Verifica-se o aumento da razão raiz: parte aérea (RRPA) com o sequeiro, mostrando os efeitos da irrigação na razão raiz: parte aérea, os níveis de irrigação tiveram maior efeito no crescimento das raízes e da parte aérea, por sua vez Magaia *et al.* (2015), também observaram menor razão raiz: parte aérea no tratamento irrigado, sendo que os resultados obtidos de acordo com Magaia *et al.* (2015), podem ser explicados como resposta da cultura as condições de stress hídrico, que induzem a inibição do crescimento das partes aéreas favorecendo o aumento considerável do crescimento do sistema radicular, resultando em maior razão raiz: parte aérea no sequeiro.

4.4. Rendimento do grão

Os resultados da tabela abaixo mostram os valores de p na ANOVA para o rendimento do grão e índice de colheita na cultura do milho, sob efeito de diferentes níveis irrigação, adubação e sistema de cultivo. Foram verificados efeitos estatisticamente significativos nos factores irrigação sobre o rendimento médio do grão da cultura do milho, também a interacção entre a adubação e sistema de cultivo tem efeito sobre o índice de colheita.

Tabela 6: O valor de p na ANOVA para o rendimento do grão do milho (RG) e índice de colheita (HI) nos tratamentos níveis de irrigação, adubação e sistema de cultivo.

Tratamentos	Valor de p	
	RG (ton/ha)	HI
Irrigação	0,0003	0,1748
Adubação	0,2893	0,7131
Sistema de cultivo	0,1749	0,7671
Irrigação × Adubação	0,4648	0,4651
Irrigação × Sistema de cultivo	0,3142	0,0927
Adubação × Sistema de cultivo	0,2058	0,0163
Irrigação × Adubação × Sistema de cultivo	0,4618	0,1190

Para o factor irrigação, o nível irrigado aumentou o rendimento do grão em média 80 %, quando comparado ao sequeiro, obtendo cerca de 3 ton/ha, conforme ilustra a figura 13.

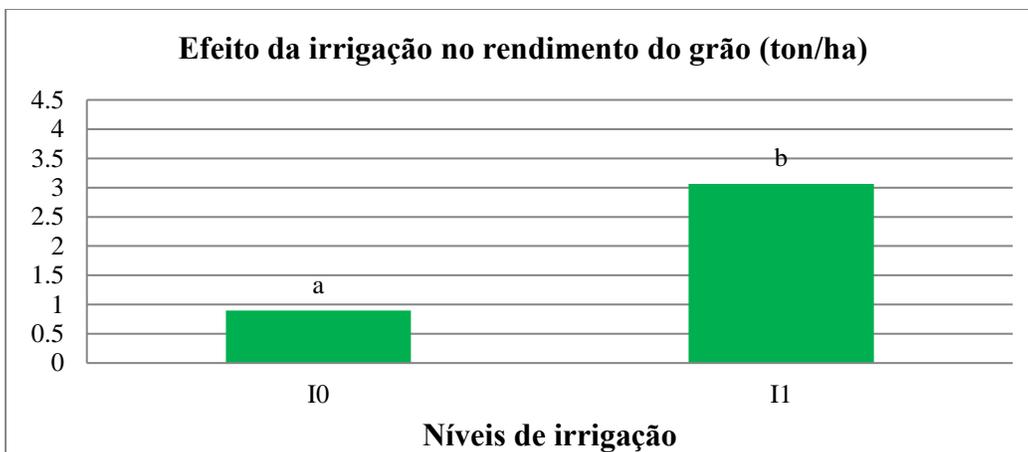


Figura 13: Efeito da irrigação no rendimento do grão do milho, onde I0 é o nível de sequeiro e I1 é o nível irrigado. Médias com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

As figuras 14 ilustram os efeitos dos diferentes níveis de irrigação (sequeiro e irrigado) na distribuição da biomassa total na cultura de milho. Expresso como índice de colheita (HI) foi em média 0,34 e 0,42 no sequeiro e irrigado, respectivamente. No sequeiro, houve a redução do rendimento do grão para favorecer o crescimento das raízes, o que provavelmente foi consequência do stress hídrico nas fases críticas de desenvolvimento da cultura do milho.

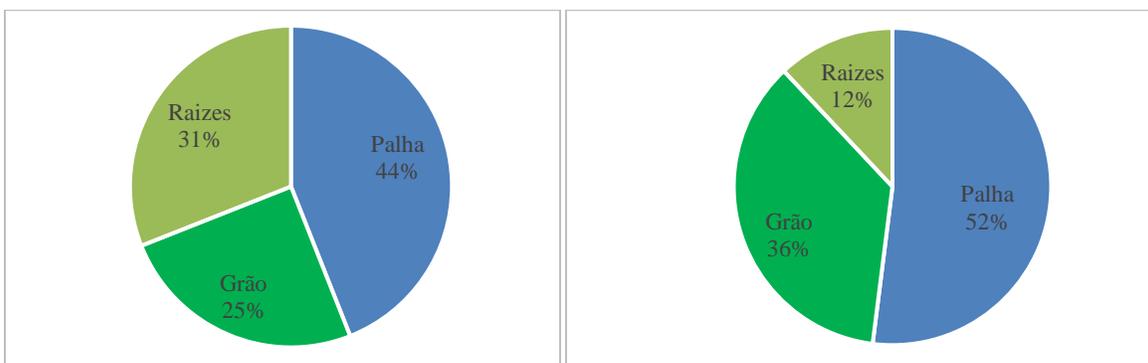


Figura 14: Distribuição percentual da biomassa total da cultura de milho no nível de irrigação sequeiro e irrigado, respectivamente.

O irrigado mostrou maior rendimento do grão em todos os tratamentos em relação ao sequeiro o que corrobora com Magaia *et al.* (2015) que afirmam a sensibilidade da cultura do milho ao stress hídrico em certos estágios como o início da floração e enchimento do grão podendo reduzir o rendimento. De acordo Tissi (2001) & Shafique *et al.* (2020), o stress hídrico, afecta o rendimento do grão na medida em que sob stress hídrico a planta aumenta o peso da raiz em detrimento do peso da parte aérea, reduzido desta forma a taxa fotossintética imprescindível para produção de fotoassimilados necessários para o enchimento do grão.

O teste de Tukey (tabela em anexo) comparando os tratamentos correspondentes a adubação nitrogenada em cobertura, não mostrou diferenças significativas entre os níveis adubado e não adubado mesmo com a irrigação. Estes resultados são contrários aos obtidos por Magaia (2017), no seu estudo sobre tecnologias para melhorar a eficiência do uso da água na produção do milho, onde constatou que, o aumento da dose de nitrogénio aumentava o rendimento do grão, Magaia *et al.* (2015) referenciam que, a adubação pode ser pouco confiável em um sistema de sequeiro e que o adubo só tem efeito em combinação com a irrigação o que pode explicar os resultados obtidos no sequeiro. O resultado obtido no irrigado pode ser explicado provavelmente pela lixiviação de nutrientes devido a maior disponibilidade de água no sistema contribui para uma maior infiltração de água no solo e dessa forma para uma lixiviação mais intensa dos ânions nitrato no sistema de cultivo do milho puro.

Por outro lado, os resultados obtidos no presente estudo colaboram com os resultados obtidos por Souza *et al.* (2011), no seu estudo sobre eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão nhemba sob sistemas de cultivo puro e consociado, onde constataram que o rendimento do grão da cultura de milho em consociação teve um decréscimo em relação ao cultivo puro, constataram também que na cultura do milho, em ambos os sistemas de cultivo, houve redução do rendimento para o sequeiro, quando comparadas ao irrigado, Ferreira *et al.* (2014) por sua vez, avaliando a consociação entre a cultura de milho e forrageiras, concluiu também que o rendimento dos grãos do milho foi maior em cultivo puro quando comparado a sistemas consociado.

4.5. Correlação entre a biomassa aérea e biomassa radicular e entre o rendimento do grão e a palha

A relação entre a biomassa aérea e a biomassa radicular é forte positiva (correlação = 0,76), ou seja, quando a biomassa radicular aumenta a biomassa aérea também aumenta, 30% da biomassa aérea é justificada pela biomassa radicular. Segundo Collier *et al.* (2011) há maior eficiência no uso de água e nutrientes disponíveis no solo (maior biomassa radicular), devido à exploração de maior volume de solo pelo sistema radicular, portanto quando aumenta-se a biomassa radicular aumenta-se a também a eficiência na absorção de água e nutrientes aumentando consequentemente a produção de biomassa aérea, Chilundo *et al.* (2016) por sua vez quando estudavam a resposta do crescimento radicular do milho a irrigação e a adubação nitrogenada, partindo da suposição de que o aumento na densidade radicular beneficia o rendimento do grão e a biomassa aérea, observaram que maiores densidades radiculares resultaram em maiores rendimentos do grão, além disso, um sistema radicular bem desenvolvido irá permitir a maximização da eficiência do uso de água e nutrientes, reduzindo assim a lixiviação de nitrogênio.

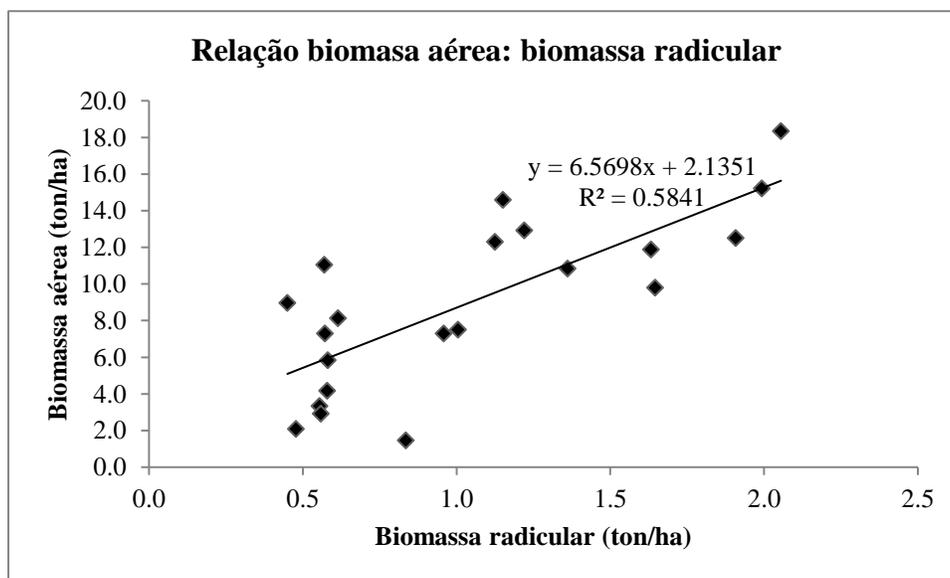


Figura 15: Análise da relação entre a biomassa aérea e a biomassa radicular na cultura de milho, R^2 é o coeficiente de determinação.

A relação entre o rendimento do grão e a palha é forte positiva (correlação = 0,79), ou seja, quando a palha aumenta o rendimento do grão também aumenta, 63% do rendimento do grão é justificado pela palha. Os tratamentos com maior peso da palha tiveram maiores rendimentos do grão na cultura de milho. Mangujo (2022), observou maiores rendimentos do grão de milho nos tratamentos que apresentaram maior biomassa aérea.

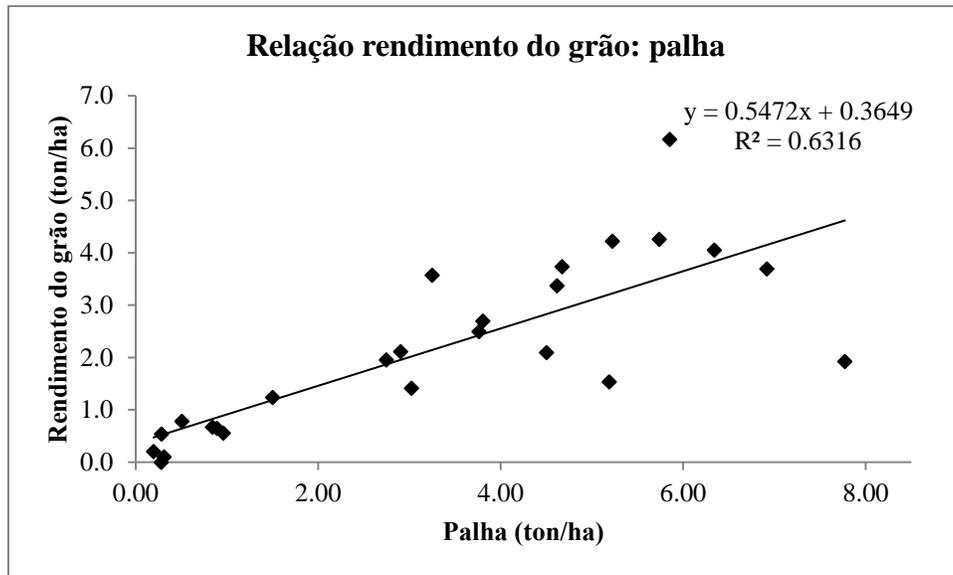


Figura 16: Análise da relação entre o rendimento do grão e a palha na cultura do milho, R^2 é o coeficiente de determinação.

5. CONCLUSÕES

Na cultura de milho cerca de 60% da biomassa radicular estavam concentradas na primeira profundidade de solo (0-15 cm) e a densidade radicular reduz com o aumento da profundidade do solo independentemente dos níveis irrigação e adubação.

Os níveis de irrigação tiveram efeito significativo na razão raiz: parte aérea, onde o sequeiro proporcionou maior razão raiz parte aérea (RRPA), tendo sido cerca de 13% maior em sequeiro, porém, os níveis de adubação e sistemas de cultivo não tiveram efeito significativo na razão raiz: parte aérea.

O presente estudo indicou que, quanto maior for a biomassa radicular, maior será a biomassa aérea, e que o rendimento do grão da cultura foi directamente proporcional a biomassa aérea, relação expresso como índice de colheita (HI) que foi em média 0,42.

6. RECOMENDAÇÃO

Aos investigadores recomenda-se, a realização de mais estudos com o uso de mais níveis de irrigação, adubação e sistemas de cultivo, estudando se também o sistema radicular do feijão nhemba, de modo a ter uma visão mais ampla de como o sistema radicular comporta-se e que os próximos estudos incluam a avaliação da fixação do nitrogénio.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, G. O. (2017). *Cultivo de Milho e Soja em Solos sob Diferentes Tipos de Manejo*. Dissertação de mestrado em Ciências Agrárias. Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Sete Lagoas. 35pp.
- Barbosa, W. S. (2017). *Milho Cultivado sob Diferentes Lâminas de Irrigação e Adubação Nitrogenada*. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Brazil. 116 pp.
- Barros J. F.; Calado J. G. (2014). *A cultura de Milho*. Universidade de Évora. Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Fitotecnia. Portugal. 52 pp.
- Böhm, W. (1979). *Methods of studying root systems*. Berlin: Springer-Verlag. 140 pp.
- Chiconela, T.; Mutondo, J.; Mlay, G.; Mazuze, F.; Tostão, E.; Amane, M.; Amilai, C.; Ecole, C.C.; Falcão, M. (2010). *Fichas Técnicas de Culturas*. 1 ed., IIAM. Mocambique. 112 pp.
- Chilundo, M. (2017). *Effects of irrigation and fertilizer management on water and nitrogen use efficiency in maize on a semi-arid loamy sandy soil*. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Department of Soil and Environment. Uppsala. 84pp.
- Chilundo, M.; Joel, A.; Wesströmb, I.; Brito, R.; Messing, I. (2016). *Response of maize root growth to irrigation and nitrogen management strategies in semi-arid loamy sandy soil*. Eduardo Mondlane University, Department of Rural Engineering, Faculty of Agronomy and Forestry Engineering, PO Box 257, Maputo, Mozambique. Field Crops Research 200. p. 143–162.
- Ciampitti, I. A.; Elmore, R. W.; Lauer, J. (2016). *Fases de Desenvolvimento da Cultura do Milho*. Kansas State University Agricultural Experiment, Station and Cooperative Extension Service. Estados Unidos da América. MF3305BP.

- Collier, L. S.; Kikuchi, F. Y.; Benício, L. P. F., Sousa, S. A.; (2011). *Consórcio e Sucessão de Milho e Feijão-de-Porco como Alternativa de Cultivo sob Plantio Direto*. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 41, n. 3, p. 306-313.
- Come, S. F.; Neto, J. A. F. (2017). *Adoção da variedade de milho Matuba pelos pequenos produtores do distrito de Sussundenga*. Revista em Agro-negócio e Meio Ambiente. Moçambique, v.10, p. 977-994.
- Cunguara, B.; Garrett J. (2011). *O Sector Agrário em Moçambique: Análise situacional, estrangulamentos e oportunidades para o crescimento agrário*. Moçambique. 68 pp.
- Fante Jr, L.; Reichardt, K.; Jorge, L. A.; Bacchi, O. O. (1999). *Distribuição do Sistema Radicular de uma Cultura de Aveia Forrageira*. ScientiaAgricola, v.56, n.4, p.1091-1100.
- Fato, P.; Chaúque, S. P.; Mulina, E. Mutimba, E. A. ; Senete, C. T.; Nhamucho, E. (2011). *Manual de Produção de Milho*. Coleção de Transferência de Tecnologia, Série Agricultura nº2. IIAM. Moçambique. 52pp.
- Feitas, T. A. S.; Barroso, D. G.; Carneiro, J. G. A. (2008). *Dinâmica de Raízes de Espécies Arbóreas: Visão da Literatura*. Ciência Florestal. Santa Maria. v. 18, n. 1, p. 133-142.
- Ferreira, E. A.; Coletti, A. J.; Silva, W. M.; Macedo, F. G.; Albuquerque, A. N. *Desempenho e Uso Eficiente da Terra de Modalidades de Consorciação com Milho e Forrageiras*. Revista Caatinga, Mossoró, V. 27, P. 22 – 29, 2014
- Gimo, D. P. (2013). *Determinantes da Oferta de Milho no Distrito de Mocuba: 1990-2013*. Dissertação para o grau de Mestre em Economia Agrária, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (UEM), Moçambique. 62 pp.
- Gimo, J. A. (2008). *Efeito do Stress Hídrico no Crescimento de três Variedades de Feijão Nhamba (Vigna unguiculata (L.) Walp)*. Monografia para o grau de licenciatura, Faculdade de Ciências (UEM), Departamento de Ciências Biológicas. Moçambique. 73 pp.

- Junior, F. A.; Filho, M. A.; Silva, T. S. M.; Coelho, E. F.; Oliveira, V. V. (2009). *Distribuição Radicular de Mandioca Consorciada com Milho e de Milho Solteiro*. XVI congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Belo Horizonte. 07: 44380-000.
- Kaspar, T.C.; Bland, W.L. (1992). *Soil temperature and root growth*. Soil Science, 154:290-299;
- Kerbaudy, G. B. (2004). *Fisiologia Vegetal*. Editora Guanabara Koogan S.A. Rio de Janeiro. 470pp.
- Magaia, E. (2017). *Technologies for improved water use efficiency in small-scale maize production in a semi-arid region*. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. 92 pp.
- Magaia, E.; Arvidsson, J.; Brito, R.; Joel A. (2015). *Maize root development and grain production as affected by soil and water management on a sandy soil in a semi-arid region of southern Mozambique*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B- Soil & Plant Science, DOI: 10.1080/09064710.2015.1090624.
- Magalhães, P. C.; Durães, F. O. (2006). *Fisiologia da Produção de Milho*. Embrapa Milho e Sorgo. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, Brazil. 10 pp.
- Magalhães, P. C.; Durães, F.O.; Gomide, R. L. (1996). *Fisiologia da Cultura do Milho*. Centro Nacional Pesquisa Milho e Sorgo, EMBRAPA, Brazil, p. 15-33;
- Mangujo, N. E. (2022). *Avaliação do efeito do Desenvolvimento radicular no Rendimento do Grão de Milho*. Monografia para o grau de licenciatura, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (UEM), Departamento de Engenharia Rural. Moçambique. 60 pp.
- Mendonça, F. C.; Medeiros, R. D.; Botrel, T. A.; Frizzone, J. A. (1999). *Adubação Nitrogenada do Milho em um Sistema de Irrigação por Aspersão em Linha*. Scientia Agricola, v.56, n.4, p. 1035-1044.
- Ministério da Administração Estatal. (2005). *Perfil do distrito de Moamba*, província de Maputo. Moçambique. 56 pp.
- Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural. (2020). *Inquérito Agrário Integrado*. Moçambique. 82 pp.

- Mudema, J. A.; Sitole, R. F.; Gilead, M.; (2012). *Rentabilidade da cultura do milho na zona sul de Moçambique*: Estudo de caso do distrito de Boane, IIAM, Maputo. 24 pp.
- Neto, A. M.; Soares, E. R.; Silva, M. S.; Peixoto, F. R.; Corá, J. E.; Coutinho, E. L. (2013). *Densidade de raízes de milho em função de estratégias de aplicação de N e de plantas de entressafra*. Universidade Estadual Paulista. Brasil. 4pp.
- Ramos, A.; Folegatti, M.V.; Bovi, M.L.; Diotto, A.V. (2009). *Distribuição Espacial do Sistema Radicular da Pupunheira Em Função de Lâminas de Irrigação*. Irriga, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 431-440.
- Ramos, A.D.F. (1998). *Influência da Água e do Azoto no Enraizamento do Milho (Zea mays L.)*. Mestrado em Engenharia de Água e Solo, Universidade de Évora. Évora. 116 pp.
- Shafique, F; Ali, Q; Malik, A. (2020). *Effects of Water Défice on Maze Seedlings Growth Traits* Institute of Molecular Biology and Biotechnology. The university of Lahore, Pakistan. Biol. Clin. Sci. Res. J.,28.
- Souza, L. S.; Moura, M. S.; Sedyama, G. C. ; Silva, T. G. (2011). *Eficiência do Uso da Água das Culturas do Milho e do Feijão-Caupi sob Sistemas de Plantio Exclusivo e Consorciado no Semiárido Brasileiro* . Bragantia, Campinas, v. 70, n. 3, p.715-721;
- Taylor, H. M. (1986). *Methods of Studying Root Systems in the Field*. Hort Science; Vol. 21. Plant and Soil Science Department, Texas Tech University. Lubbock. p. 952-956.
- Tissi, J. A. (2001). *Crescimento Radicular e Nutrição de Milho (Zea mays L.) Cultivado em Sistema Plantio Direto em Função da Aplicação Superficial de Calcário em Latossolo Argiloso*. Dissertação de Mestrado em Ciências do solo, Sector de Ciências Agrárias, UFPR. Curitiba. 64 pp.
- Uaiene, R. N. (2006). *Introdução de Novas Tecnologias Agrícolas e Estratégias de Comercialização no Centro de Moçambique*. Relatório de pesquisa N°. 2p, Direção de Formação, Documentação e transferência de tecnologia, IIAM, Moçambique. 32 pp.
- Unisted State Department of Agricultur (2013). Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx> . Acessado em: 20 de Abril de 2013.

Zafar-ul-Hye, M.; Farooq, H. M.; Hussain, M. (2015). *Bacteria in combination with fertilizers promote root and shoot growth of maize in saline-sodic soil*. Brazilian Journal of Microbiology 46, 97-102.

Zaqueu, M. A. J. (2017). *Efeito da densidade radicular do milho no rendimento do grão, sob diferentes formas de manejo do solo*. Monografia para o grau de licenciatura, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (UEM), Departamento de Engenharia Rural. Moçambique. 47 pp.

8. ANEXOS

Anexo I: Dados da distribuição das necessidades de irrigação da cultura de milho

Tabela 7: Dados da distribuição das necessidades de irrigação da cultura de milho usando o programa CropWat 8.0

Data	Dias	Estágio	Pr (mm)	Ks	Eta (%)	Depl (%)	In (mm)	Deficit (mm)	Perdas (mm)	Ig (mm)	Hidromódulo (l/s/ha)
19-Mar	20	Inicial	0	1	100	12	4.1	0	0	5.9	0.03
22-Mar	23	Des	0	1	100	16	5.6	0	0	8	0.31
25-Mar	26	Des	0	1	100	17	6.3	0	0	9	0.35
28-Mar	29	Des	0	1	100	10	4.2	0	0	6	0.23
31-Mar	32	Des	0	1	100	15	6.3	0	0	9	0.35
3-Abr	35	Des	9.7	1	100	7	3.1	0	0	4.5	0.17
6-Abr	38	Des	0	1	100	20	9.4	0	0	13.4	0.52
9-Abr	41	Des	0	1	100	19	9.4	0	0	13.4	0.52
12-Abr	44	Des	0	1	100	21	11.1	0	0	15.8	0.61
15-Abr	47	Des	0	1	100	22	11.9	0	0	17	0.66
18-Abr	50	Des	0	1	100	14	7.9	0	0	11.3	0.44
21-Abr	53	Des	0	1	100	21	12.4	0	0	17.8	0.69
24-Abr	56	Max	0	1	100	15	9	0	0	12.9	0.5
27-Abr	59	Max	6.6	1	100	11	6.9	0	0	9.8	0.38
30-Abr	62	Max	0	1	100	23	13.5	0	0	19.3	0.74
3-Mai	65	Max	4.1	1	100	15	8.9	0	0	12.7	0.49
6-Mai	68	Max	0	1	100	22	13	0	0	18.6	0.72
9-Mai	71	Max	0	1	100	22	13	0	0	18.6	0.72
12-Mai	74	Max	0	1	100	21	12.6	0	0	18	0.69
15-Mai	77	Max	0	1	100	21	12.4	0	0	17.7	0.68
18-Mai	80	Max	0	1	100	17	10.4	0	0	14.9	0.57
21-Mai	83	Max	0	1	100	20	12.2	0	0	17.4	0.67
24-Mai	86	Max	0	1	100	16	9.9	0	0	14.1	0.55
27-Mai	89	Max	2	1	100	16	9.9	0	0	14.1	0.55
30-Mai	92	Max	0	1	100	20	11.9	0	0	17	0.65
2-Jun	95	Max	0	1	100	18	10.9	0	0	15.6	0.6
5-Jun	98	Mat	0	1	100	17	10.4	0	0	14.9	0.57
8-Jun	101	Mat	0	1	100	14	8.2	0	0	11.7	0.45
11-Jun	104	Mat	0	1	100	16	9.4	0	0	13.4	0.52
14-Jun	107	Mat	0	1	100	9	5.4	0	0	7.7	0.3
17-Jun	110	Mat	2	1	100	9	5.4	0	0	7.7	0.3
20-Jun	113	Mat	0	1	100	12	7.4	0	0	10.6	0.41
23-Jun	116	Mat	1.8	1	100	5	3	0	0	4.3	0.17
26-Jun	119	Mat	0	1	100	8	4.8	0	0	6.9	0.27
29-Jun	122	Mat	0	1	100	8	4.8	0	0	6.9	0.27
2-Jul	End	Mat	0	1	0	5					

Anexo II: Dados da densidade radicular (DR), biomassa aérea (BA) , biomassa radicular (BR), razão raiz : parte aérea (RRPA) ,índice de colheita (HI)

Tabela 8: Dados da densidade radicular em mg/cm³

Bloc.	Trat. Nr.	Designação	V7			VT			R4		
			DR (mg/cm ³)			DR (mg/m ³)			DR (mg/m ³)		
			0 - 15 cm	15-30 cm	30 - 45 cm	0 - 15 cm	15-30 cm	30 - 45 cm	0 - 15 cm	15-30 cm	30 - 45 cm
1	1	MN0I0	0.01	0.00	0.00	0.12	0.09	0.00	0.10	0.09	0.00
	2	MCN0I0	0.07	0.00	0.00	0.10	0.05	0.00	0.08	0.05	0.00
	3	MN1I0	0.03	0.03	0.00	0.13	0.08	0.00	0.10	0.07	0.03
	4	MCN1I0	0.03	0.00	0.00	0.14	0.08	0.00	0.12	0.05	0.03
	5	MN0I1	0.14	0.03	0.00	0.20	0.08	0.02	0.18	0.00	0.02
	6	MCN0I1	0.07	0.07	0.00	0.25	0.05	0.02	0.24	0.05	0.02
	7	MN1I1	0.01	0.03	0.00	0.19	0.14	0.04	0.19	0.14	0.00
	8	MCN1I1	0.03	0.00	0.00	0.24	0.07	0.03	0.23	0.07	0.00
2	1	MN0I0	0.01	0.00	0.00	0.09	0.08	0.00	0.09	0.06	0.03
	2	MCN0I0	0.03	0.00	0.00	0.10	0.03	0.00	0.10	0.00	0.00
	3	MN1I0	0.03	0.02	0.00	0.15	0.06	0.00	0.15	0.00	0.03
	4	MCN1I0	0.01	0.03	0.00	0.10	0.09	0.00	0.10	0.09	0.00
	5	MN0I1	0.01	0.00	0.00	0.14	0.07	0.03	0.14	0.06	0.03
	6	MCN0I1	0.02	0.00	0.00	0.18	0.06	0.03	0.18	0.06	0.03
	7	MN1I1	0.01	0.02	0.00	0.17	0.05	0.03	0.17	0.05	0.03
	8	MCN1I1	0.01	0.00	0.00	0.21	0.16	0.07	0.21	0.16	0.00
3	1	MN0I0	0.01	0.00	0.00	0.10	0.04	0.00	0.10	0.04	0.03
	2	MCN0I0	0.02	0.03	0.00	0.11	0.03	0.00	0.11	0.00	0.00
	3	MN1I0	0.03	0.03	0.00	0.15	0.10	0.00	0.15	0.08	0.03
	4	MCN1I0	0.02	0.04	0.00	0.09	0.07	0.00	0.09	0.07	0.00
	5	MN0I1	0.02	0.03	0.00	0.14	0.08	0.02	0.12	0.06	0.02
	6	MCN0I1	0.01	0.00	0.00	0.25	0.14	0.03	0.25	0.08	0.03
	7	MN1I1	0.01	0.02	0.00	0.25	0.14	0.07	0.23	0.14	0.07
	8	MCN1I1	0.01	0.00	0.00	0.20	0.06	0.03	0.19	0.00	0.03
4	1	MN0I0	0.05	0.00	0.00	0.14	0.05	0.00	0.14	0.05	0.00
	2	MCN0I0	0.02	0.03	0.00	0.13	0.04	0.00	0.11	0.04	0.03
	3	MN1I0	0.02	0.03	0.00	0.19	0.04	0.00	0.19	0.04	0.00
	4	MCN1I0	0.03	0.04	0.00	0.10	0.07	0.00	0.10	0.06	0.00
	5	MN0I1	0.00	0.03	0.00	0.16	0.10	0.03	0.15	0.10	0.00
	6	MCN0I1	0.06	0.00	0.00	0.21	0.03	0.02	0.21	0.03	0.00
	7	MN1I1	0.01	0.02	0.00	0.23	0.15	0.06	0.22	0.15	0.06
	8	MCN1I1	0.01	0.00	0.00	0.25	0.14	0.08	0.25	0.14	0.08

Tabela 8: Dados da biomassa aérea (BA), biomassa radicular (BR) e razão raiz: parte aérea (RRPA)

Bloco	Trat. Nr.	Descrição	R4		
			BA(Kg/ha)	BR(Kg/ha)	RRPA
1	1	MN0I0	9792	1645	0,1680
	2	MCN0I0	1458	834	0,5721
	3	MN1I0	5208	2146	0,4121
	4	MCN1I0	5833	581	0,0996
	5	MN0I1	18333	452	0,0246
	6	MCN0I1	15208	1993	0,1310
	7	MN1I1	11875	1632	0,1374
	8	MCN1I1	7292	958	0,1314
2	1	MN0I0	3333	555	0,1664
	2	MCN0I0	14583	1151	0,0789
	3	MN1I0	7500	1005	0,1340
	4	MCN1I0	4167	579	0,1389
	5	MN0I1	12500	1908	0,1526
	6	MCN0I1	10833	1361	0,1256
	7	MN1I1	11042	570	0,0516
	8	MCN1I1	8125	615	0,0756
3	1	MN0I0	7292	572	0,0784
	2	MCN0I0	2917	558	0,1914
	3	MN1I0	2083	478	0,2292
	4	MCN1I0	1875	1388	0,7404
	5	MN0I1	18333	2055	0,1121
	6	MCN0I1	8958	450	0,0502
	7	MN1I1	12292	1125	0,0915
	8	MCN1I1	12917	1220	0,0944

Tabela 10: Dados do índice de colheita, rendimento do grão (RG) e biomassa aérea (BA).

Bloco	Trat. Nr.	Designação	RG (ton/ha)	BA (ton/ha)	HI
1	1	MN0I0	0,7	1,54	0,42
	2	MCN0I0	0,2	2,81	0,08
	3	MN1I0	1,2	2,74	0,45
	4	MCN1I0	-	-	-
	5	MN0I1	6,2	12,02	0,51
	6	MCN0I1	4,3	10,00	0,43
	7	MN1I1	1,9	9,70	0,20
	8	MCN1I1	0,8	1,29	0,61
2	1	MN0I0	1,4	4,44	0,32
	2	MCN0I0	0,3	5,01	0,06
	3	MN1I0	2,0	4,70	0,42
	4	MCN1I0	0,6	1,51	0,37
	5	MN0I1	4,1	10,39	0,39
	6	MCN0I1	5,1	7,60	0,67
	7	MN1I1	2,1	5,02	0,42
	8	MCN1I1	4,2	9,44	0,45
3	1	MN0I0	3,6	6,82	0,52
	2	MCN0I0	0,1	0,41	0,25
	3	MN1I0	-	-	-
	4	MCN1I0	0,2	0,40	0,51
	5	MN0I1	3,7	10,61	0,35
	6	MCN0I1	0,7	1,52	0,44
	7	MN1I1	2,1	6,60	0,32
	8	MCN1I1	3,7	8,41	0,44
4	1	MN0I0	0,5	0,82	0,66
	2	MCN0I0	-	-	-
	3	MN1I0	0,0	0,28	0
	4	MCN1I0	-	-	-
	5	MN0I1	2,7	6,50	0,41
	6	MCN0I1	1,5	6,72	0,23
	7	MN1I1	2,5	6,26	0,40
	8	MCN1I1	3,4	7,99	0,42

Anexo III: Teste de médias (Tukey)

Comparação de médias para a densidade radicular (Dr) em diferentes níveis de irrigação, adubação e sistema de cultivo para as respectivas fases de desenvolvimento e profundidades do solo

Factores	Densidade radicular (mg/cm ³)							
	V7_A1	V7_A2	VT_A1	VT_A2	VT_A3	R4_A1	R4_A2	R4_A3
Níveis de irrigação (I)								
I0	0,1558a	0,09879a	0,1225a	0,0625a	1,09 ⁻¹ a	0,1143a	0,04937a	0,013125a
I1	0,3998a	0,08635a	0,2043b	0,095b	0,1896b	0,1975b	0,08062b	0,02625a
Níveis de adubação (N)								
N0	0,1631a	0,07066a	0,1512a	0,06375a	0,0786a	0,1437a	0,04812a	0,015a
N1	0,1326a	0,1144a	0,1744b	0,09375b	0,02556b	0,1681b	0,08187b	0,0243a
Níveis do sistema de cultivo (M)								
M	0,1375a	0,1111a	0,01622a	0,08437a	0,094a	0,1512a	0,07062a	0,1253a
100M50C	0,1582a	0,07401a	0,01362a	0,07312a	0,0259a	0,1606a	0,05937a	0,08064a

Médias seguidas com letras diferentes na coluna são significativamente diferentes em $p < 0,05$

Onde: Profundidades do solo: A1:0-15 cm; A2:15-30cm; A3:15-30cm; Fases de desenvolvimento: V7 – 7 folhas; VT – pendoamento; R4 – grão pastoso; I1: Irrigado; I0 – Sequeiro; N1 – sem adubação de cobertura; N0 – aplicação de 166 kg/ha de N ; M- Milho puro; 100M50C – Milho consociado;

Comparação de médias da biomassa aérea (BA), biomassa radicular (BR) e razão raiz: parte aérea (RPPA) em diferentes níveis de irrigação, adubação e sistema de cultivo

Factores	BA (Kg/ha)	BR (Kg/ha)	RPPA
Níveis de irrigação			
Sequeiro	8 420a	1 151,333a	0,6726a
Irigado	9 392,417 ^a	1 001,25a	0,5466b
Níveis de adubação			
Não adubado	10 295a	1 127,833a	0,5937a
Adubado	7 517,417a	1 024,75a	0,6255a
Níveis do sistema de cultivo			
Milho puro	9 965,25a	1 178,58a	0,5929a
Milho consociado	7 847,167a	974a	0,6263a

Comparação de médias do rendimento do grão do milho (RG) em diferentes níveis de irrigação, adubação e sistema de cultivo

Factores	RG (ton/ha)
Níveis de irrigação	
Sequeiro	0,9 a
Irigado	3,0625 b
Níveis de adubação	
Não adubado	2,34 a
Adubado	1,9 a
Níveis do sistema de cultivo	
Milho puro	2,3133 a
Milho consociado	1,9307 a

Médias seguidas com letras diferentes na coluna são significativamente diferentes em $p < 0,05$

Anexo IV: Análise da correlação

Para relação biomassa aérea: biomassa radicular

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.764272
Quadrado de R	0.584112
Quadrado de R ajustado	0.562223
Erro-padrão	3.059831
Observações	21

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significância</i>
Regressão	1	249.8436	249.843	26.6853 7	5.5E-05
Residual	19	177.8887	9.36256		
Total	20	427.7323			

	<i>Coefficients</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interceptar	2.1351	1.481742	1.44093	0.16588	-0.96622	5.236421	-0.96622	5.236421
BR(ton/ha)	6.569776	1.271786	5.16578	5.5E-05	3.907898	9.231654	3.907898	9.231654

Para relação rendimento do grão: palha

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.794764
Quadrado de R	0.631649
Quadrado de R ajustado	0.615634
Erro-padrão	1.006049
Observações	25

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significância</i>
Regressão	1	39.91907	39.9190	39.4404	2.08E-06
Residual	23	23.27911	1.01213		
Total	24	63.19817			

	<i>Coefficients</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interceptar	0.364881	0.349742	1.04328	0.30765	-0.35862	1.088378	-0.35862	1.088378
Rb (ton/ha)	0.547164	0.087126	6.28016	2.08E-06	0.36693	0.727397	0.36693	0.727397