LUIZ FILIPE DOS SANTOS SILVA

Desempenho e rendimento da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) em diferentes cenários salinos do semiárido de Pernambuco

Serra Talhada-PE

2024

S
I
L
V
A

L
F
S

S
A
LI
N
I
D
A
D
E

N
A

Q
U
I
N
O
A
.

.

.

2
0
2
4

LUIZ FILIPE DOS SANTOS SILVA

Desempenho e rendimento da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) em diferentes cenários salinos do semiárido de Pernambuco

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza

Serra Talhada-PE

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L953dd Silva, Luiz Filipe dos Santos
Desempenho e rendimento da quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) em diferentes cenários salinos do semiárido de Pernambuco / Luiz Filipe dos Santos Silva. - 2024.
86 f. : il.

Orientador: Luiz Guilherme Medeiros Pessoa.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, , Serra Talhada, 2024.

1. Chenopodium quinoa. 2. águas salinas. 3. semiárido. 4. manejo sustentável. 5. atributos do solo. I. Pessoa, Luiz Guilherme Medeiros, orient. II. Título

CDD

LUIZ FILIPE DOS SANTOS SILVA

Desempenho e rendimento da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) em diferentes cenários salinos do semiárido de Pernambuco

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em 26_ / 07_ / 2024.

Banca Examinadora

_____
Prof. Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa – UAST/UFRPE
Orientador

_____
Dra. Emanuelle Maria da Silva – PNPD/PGPV/UFRPE
Examinador Interno

_____
Profa. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire – DEPA/UFRPE
Examinador Externo

À minha família que esteve sempre ao meu lado incondicionalmente em todas as minhas decisões e sempre me apoiou, com todo amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus pelas diversas oportunidades que me concedeu ao longo da minha vida e por sempre abençoar minha jornada na vida acadêmica. E por nunca me abandonar nos momentos mais difíceis da minha vida.

Agradeço a minha família por sempre me apoiar, especialmente minha mãe e meu pai, por sempre estarem ao meu lado e fazerem de tudo por mim, ajudando a concluir minha formação acadêmica mesmo com tantas dificuldades nunca me deixaram falta nada. À minha irmã e aos meus irmãos, pelo apoio e a força que sempre me deram.

Quero agradecer a uma pessoa muito especial que conheci durante a minha caminhada na pós-graduação a Aline Lima Soares. Que desde quando se conhecemos me apoiou sempre, incentivou diversas vezes e de várias formas, sempre me dando força para continuar nos momentos difíceis. Saiba que você me ajudou muito em diversos momentos que passei até chegar no final do mestrado. Lembro das vezes que me ajudou nas análises em laboratório e ficando acordada até tarde da noite comigo. Deixo o meu enorme carinho e amor que sinto por você, agradeço muito por ter lhe conhecido, pois quando mais precisei sempre esteve comigo, muito obrigado por tudo mesmo, essa vitória não é só minha, é nossa.

Agradeço ao núcleo de pesquisa em solos do semiárido – NUPSSE, com a coordenação do professor/orientador Luiz Guilherme, que ao longo desses mais de 6 anos, passou diversos conhecimentos, ensinamentos e incentivos que contribuíram muito para minha formação acadêmica e profissional. Deixo os meus agradecimentos a Pós-Doutoranda do NUPSSE Emanuelle Silva por toda ajuda concedida e contribuições que aperfeiçoaram essa pesquisa, como também aos ensinamentos passados. E aos meus amigos e colegas do NUPSSE, Leonado, Orlando, Ashelley e Edilene, muito obrigado por toda ajuda oferecida desde o início do experimento até as análises em laboratório e pelo convívio nesses anos. Vocês me ajudaram muito a torna essa conquista possível. Agradeço muito e desejo muito sucesso a todos, pois merecem são muito dedicados e trabalhadores.

Agradeço aos meus colegas de curso que, ao longo desses anos, contribuíram para minha formação, pelo convívio diário e pelas várias resenhas que aconteceram nas aulas.

Agradeço à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa.

Agradeço à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pela ajuda fornecida, através da disponibilização das sementes de quinoa.

Agradeço a todos que fazem parte da UFRPE/UAST que, de alguma forma, contribuíram para minha formação.

Muito obrigado a todos!!

A persistência é o caminho do êxito.

(Charles Chaplin)

Algo só é impossível até que alguém duvide e acabe provando o contrário.

(Albert Einstein)

RESUMO GERAL

As mudanças climáticas vêm intensificando a escassez hídrica no semiárido, levando ao uso de águas de baixa qualidade, com altos teores de sódio e cloro, como alternativa no cultivo agrícola. Contudo, essa prática pode degradar o solo a longo prazo, impossibilitando o desenvolvimento vegetal devido à salinização. Portanto, é essencial desenvolver estratégias de manejo que minimizem os efeitos dos sais no solo, permitindo a utilização sustentável dessas águas no cultivo agrícola no semiárido. Uma alternativa é o cultivo da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) uma cultura altamente nutritiva e resiliente, caracterizada por sua adaptabilidade a diversos climas e ambientes, como as regiões áridas e semiáridas, tolerante a estresse salino e seca, representando uma cultura promissora. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi investigar a combinação da aplicação de compostos orgânicos e intervalos de irrigação sobre o crescimento e produtividade da quinoa, propriedades químicas do solo e nutricionais da quinoa, cultivada em solo salino no semiárido do Brasil. Dessa forma, realizaram-se dois experimentos em campo nos munícipios de Serra Talhada-PE e Parnamirim-PE, adotando-se o delineamento experimental em blocos casualizados. Foram cultivadas plantas de quinoa submetidas a doses crescentes de matéria orgânica: em Serra Talhada utilizou-se esterco bovino nas doses – 0, 15, 30 e 60 t ha^{-1} e em Parnamirim o esterco caprino nas proporções – 0, 15, 30 e 45 t ha^{-1}. Além disso, aplicaram se três turnos de rega (TR): em Serra talhada de 48h, 72h e 120h com água salina de 1,62 dS m^{-1}, enquanto que em Parnamirim foi de 24h, 72h e 96h com água salina de 3,12 dS m^{-1}. A irrigação foi realizada via gotejamento, aplicando-se uma lâmina de irrigação equivalente a 100% da evapotranspiração da cultura de acordo com cada turno de rega, durante o período de março a junho em Serra Talhada e de outubro a dezembro de 2023 em Parnamirim. Observou-se que a adição de matéria orgânica (M.O) resultou na redução da condutividade elétrica do solo (CEes), auxiliando na manutenção da condutância estomática e da transpiração das plantas de quinoa, além de proporcionar aumento na produção de massa fresca de 56,87% na dose de 30 t ha^{-1} no TR de 120h para o estudo realizado em Serra Talhada. A aplicação de M.O resultou no aumento da absorção de K como mecanismo de adaptação à elevação do Na solúvel e trocável, além disso, induziu a maior absorção de Cl^- pelas plantas como resposta à alta concentração na água de irrigação utilizada. Isso proporcionou incremento na altura das plantas de 8,16% com a dose de 45 t ha^{-1} no TR de 24h, aumentando o índice de área foliar e auxiliando na manutenção da condutância estomática da quinoa no experimento conduzido em Parnamirim. Portanto, a aplicação de M.O ao solo pode minimizar os efeitos negativos do estresse salino e hídrico, auxiliando no crescimento e na adaptação da quinoa e minimizando os efeitos nas propriedades químicas dos solos em regiões semiáridas.

Palavras chaves: *Chenopodium quinoa*, águas salinas, semiárido, manejo sustentável, atributos do solo.

GENERAL ABSTRACT

Climate change has intensified water scarcity in the semi-arid region, leading to the use of low-quality water, with high levels of sodium and chlorine, as an alternative in agricultural cultivation. However, this practice can degrade the soil in the long term, making plant development impossible due to salinization. Therefore, it is essential to develop management strategies that minimize the effects of salts in the soil, allowing the sustainable use of these waters in agricultural cultivation in the semi-arid region. An alternative is the cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), a highly nutritious and resilient crop, characterized by its adaptability to different climates and environments, such as arid and semi-arid regions, tolerant to saline stress and drought, representing a promising crop. In this context, the objective of this work was to investigate the combination of applications of organic compounds and biological preparations on the growth and productivity of quinoa, chemical properties of the soil and nutritional properties of quinoa, grown in saline soil in the semi-arid region of Brazil. Thus, two field experiments were carried out in the municipalities of Serra Talhada-PE and Parnamirim-PE, adopting the experimental design in randomized blocks. Quinoa plants were cultivated and subjected to increasing doses of organic matter: in Serra Talhada, cattle manure was used in doses – 0, 15, 30 and 60 t ha^{-1} and in Parnamirim goat manure was used in proportions – 0, 15, 30 and 45 t ha^{-1}. Furthermore, three irrigation intervals (I.I) were applied: in Serra Talhada of 48, 72 and 120 h with saline water of 1,62 dS m^{-1}, while in Parnamirim it was 24, 72 and 96 h with saline water of 3,12 dS m^{-1}. Irrigation was carried out via drip, applying an irrigation depth equivalent to 100% of the crop's evapotranspiration according to each irrigation shift, during the period from March to June in Serra Talhada and from October to December 2023 in Parnamirim. It was observed that the addition of organic matter (O.M) resulted in a reduction in soil electrical conductivity (ECes), helping to maintain stomatal conductance and transpiration of quinoa plants, in addition to providing an increase in fresh mass production of 56. 87% at a dose of 30 t ha^{-1} at a I.I of 120 h for the study carried out in Serra Talhada. The application of M.O resulted in an increase in the absorption of K as a mechanism of adaptation to the increase in soluble and exchangeable Na, in addition, it induced a greater absorption of Cl^- by the plants as a response to the high concentration in the irrigation water used. This provided an increase in plant height of 8,16% with a dose of 45 t ha^{-1} in the 24-hour I.I, increasing the leaf area index and helping to maintain the stomatal conductance of quinoa in the experiment conducted in Parnamirim. Therefore, the application of O.M to the soil can minimize the negative effects of saline and water stress, aiding the growth and adaptation of quinoa and minimizing the effects on the chemical properties of soils in semi-arid regions.

Key words: *Chenopodium quinoa*, saline waters, semiarid, sustainable management, soil attributes.

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 1

Figura 1. Localização da área experimental situada no município de Serra Talhada-PE 31

Figura 2. Condições meteorológicas no município de Serra talhada-PE no período de realização do experimento. (Prec.) Precipitação e (ETo) evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e a (LI) lâmina de irrigação aplicada (mm dia^{-1}) 33

Figura 3. Condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm sob cultivo de plantas de quinoa irrigadas com diferentes turnos de rega com água salina e doses de matéria orgânica 34

Figura 4. Variação da condutância estomática (A) e transpiração (B) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica..... 35

Figura 5. Massa fresca do caule (A), folha (B), panícula (C) e total (D) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica..... 36

Figura 6. Massa seca do caule (A), folha (B), panícula (C) e total (D) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica..... 37

Figura 7. Altura (cm) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica..... 39

Figura 8. Alterações do Indice de área foliar (IAF) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica..... 39

Figura 9. Índice de colheita (A) e produtividade de grãos (B) de plantas de quinoa de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica..... 40

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização da área experimental situada no município de Parnamirim-PE 54

Figura 2. Condições meteorológicas no município de Parnamirim-PE no período de realização do experimento. (Prec.) Precipitação e (ETo) evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e a (LI) lâmina de irrigação aplicada (mm dia^{-1}) 57

Figura 3. Produtividade de massa fresca do caule (A), folha (B), panícula (C) e total da parte aérea (D) de plantas de quinoa cultivadas sob aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina. Letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scoot-Knott a 5% de probabilidade 66

Figura 4. Produtividade de massa seca do caule (A), folha (B), panícula (C) e total da parte aérea (D) de plantas de quinoa cultivadas sob aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina. Letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade 67

Figura 5. Variação da altura (cm) de plantas de quinoa cultivadas sob aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina. Letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 68

Figura 6. Alterações do índice de área foliar (IAF) de plantas de quinoa cultivadas sob aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina. Letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 69

Figura 7. Variação da condutância estomática de plantas de quinoa cultivadas sob aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina. Letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 69

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 1

Tabela 1. Atributos químicos da água utilizada na irrigação do experimento..... 31

Tabela 2. Atributos físico-químicos do solo nas camadas superficiais e subsuperficiais (0-40 cm) da área experimental da quinoa na Unidade Acadêmica de Serra Talhada UFRPE/UAST..... 32

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 2

Tabela 1. Atributos químicos da água utilizada na irrigação do experimento..... 53

Tabela 2. Atributos químicos da matéria orgânica (esterco caprino) utilizado nos tratamentos do experimento..... 53

Tabela 3. Atributos físico-químicos do solo nas camadas superficiais e subsuperficiais (0-60 cm) da área experimental da quinoa na estação de agricultura irrigada de Parnamirim-PE da Universidade Federal Rural de Pernambuco..... 56

Tabela 4. Propriedades químicas do complexo de saturação do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm sob o cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) com aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina..... 60

Tabela 5. Propriedades químicas do solo no complexo sortivo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm sob o cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) com aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina..... 62

Tabela 6. Teores de elementos no tecido vegetal do caule, folha e panículas de plantas de quinoa submetidas a aplicação de doses crescentes de matéria orgânica e diferentes intervalos de irrigação com água salina. 65

SUMÁRIO

1. Introdução 18

2. Revisão bibliográfica 19

2.1. A salinidade no semiárido brasileiro 19

2.2. Uso de águas salinas na agricultura irrigada 21

2.3. Matéria orgânica como atenuadora do estresse salino em culturas 21

2.4. Quinoa como alternativa de cultivo para a agricultura biossalina 23

3. Referências 24

Capítulo 1 - Desempenho agronômico da Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sob adubação orgânica e irrigação salina no semiárido de Pernambuco 25

1. Introdução 27

2. Metodologia 29

2.1. Área de estudo 29

2.2. Design e tratamentos experimentais 29

2.3. Procedimentos de condução experimental 30

2.4. Avaliações morfofisiológicas 31

2.5. Avaliação da salinidade do solo 32

2.6. Medidas auxiliares ou secundárias 32

2.7. Tratamentos dos dados e análise estatística 32

3. Resultados 32

3.1. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo 32

3.2. Trocas gasosas 33

3.3. Produção de biomassa da quinoa 34

3.4. Altura de plantas 37

3.5. Índice de área foliar 38

3.6. Índice de colheita e produtividade de grãos 38

4. Discussão 39

4.1. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo 39

4.2. Trocas gasosas 40

4.3. Produção de biomassa da quinoa 41

4.4. Altura 42

4.5 Índice de área foliar 42

4.5. Índice de colheita 43

5. Conclusão 43

6. Referências 44

Capítulo 2 – Desenvolvimento da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) em função da adição de matéria orgânica e intervalos de irrigação salina no semiárido do Nordeste do Brasil 49

1. Introdução 51

2. Metodologia 53

2.1. Área de estudo 53

2.2. Design e tratamentos experimentais 53

2.3. Procedimentos de condução experimental 54

2.4. Avaliações morfofisiológicas 56

2.5. Avaliações dos atributos químicos do solo 56

2.6. Complexo de saturação 56

2.7. Complexo sortivo 57

2.8. Avaliações nutricionais na planta 57

2.9. Tratamentos dos dados e análise estatística 57

3. Resultados 58

3.1. Propriedades químicas do solo – Fase solúvel 58

3.2. Propriedades químicas do solo – Completo sortivo 60

3.3. Íons no material vegetal 62

3.4. Produtividade de biomassa 64

3.5. Respostas de crescimento e fisiológicas da quinoa 66

4. Discussão 68

4.1. Propriedades químicas do solo – Fase solúvel 68

4.2. Propriedades químicas do solo – Complexo sortivo 69

4.3. Íons no material vegetal 70

4.4. Produtividade de biomassa 72

4.5. Respostas de crescimento e fisiológicas da quinoa 72

5. Conclusões 74

6. Referências 74

1. Introdução

A salinização do solo é um fator importante que contribui para a perda de produtividade dos solos cultivados. É um dos processos de degradação do solo mais difundidos na Terra, ocorre, particularmente em regiões áridas e semiáridas (UNEP, 1991), impacta as terras agrícolas, afetando a germinação das culturas e causando, como resultado, declínio na produção agrícola global, incluindo a mineralização orgânica do carbono (Setia et al., 2011, Kim et al., 2012). Embora difícil de estimar com precisão, a área de solos salinizados está aumentando, e esse fenômeno é especialmente intenso em solos irrigados (Machado; Serralheiro, 2017). A literatura apresenta algumas estimativas das áreas salinizadas, como dez por cento das terras aráveis em todo o mundo sendo afetadas pela salinização, e 4 milhões de km^2 de terras aráveis perdem função de plantio devido à salinização (Songjie; Fuchun; Shigui, 2006; Rozema; Flowers, 2008). Outras estimativas indicam que cerca de um terço das terras irrigadas nos principais países são gravemente afetadas pela salinidade ou devem ser salinizadas em um futuro próximo (Khan; Abbas, 2007).

Esse problema pode ser acelerado pelas mudanças climáticas, uso excessivo de águas subterrâneas (principalmente nas proximidades do mar), aumento do uso de água de baixa qualidade na irrigação e introdução maciça de irrigação associada à agricultura intensiva e má drenagem (Machado; Serralheiro, 2017). Dessa forma, as mudanças climáticas como o aumento da temperatura e o consequente aumento da evapotranspiração podem aumentar ainda mais a lacuna na demanda e na oferta de água doce para uso agrícola (FAO, 2020).

Assim, a disponibilidade de água doce é o pré-requisito para combater a salinidade e a utilização produtiva dos solos salinos (Rai, Basak, Sundha, 2021). Considerando que a água é fundamental na produção vegetal e que, em regiões semiáridas, a concentração de sais nas águas de irrigação varia de acordo com a taxa de evaporação, uso do solo e com a composição química das rochas e/ou dos solos onde essas águas circulam, a falta de informação sobre sua qualidade pode conduzir ao uso de águas inapropriadas, com consequentes efeitos prejudiciais sobre as propriedades físico-químicas do solo (Gurgel, 2001).

No sertão do Pajeú e sertão Central do estado de Pernambuco, a agricultura irrigada tem sido severamente afetada pela má qualidade das águas utilizadas para irrigação, que apresentam altos teores de sais, com elevadas proporções de sódio e cloro (Fernandes et al., 2009). Uma alternativa para reutilizar áreas em processo de salinização e com água de baixa qualidade é o cultivo de plantas que apresentem tolerância às concentrações de sais presentes no solo. A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) é uma opção viável devido suas características, sendo uma cultura altamente nutritiva e resiliente, nativa da região andina. É um pseudocereal pertencente à família *Amaranthaceae* que foi domesticado e cultivado há mais de 5000 anos (Galwey 1992; Alandia 2020).

Tradicionalmente cultivada acima do nível do mar a quase 4000 m de elevação, a quinoa tem uma grande diversidade genética (Adolf et al., 2012; Ruiz et al., 2016), suas sementes podem ser consumidas por humanos, enquanto resíduos de colheita podem ser consumidos por animais (Choukr-Allah et. al., 2016). Seu alto valor nutricional e a tolerância a sais contribuíram para o aumento da popularidade como cultura comercial

(Adolf et al., 2012; Adolf; Jacobsen; Shabala, 2013), em sistemas agrícolas de grande, médio e pequeno porte.

Estes sistemas agrícolas, ou agroecossistema, são uma coleção de componentes que tem como objetivo geral a produção de culturas e a criação de gado para produzir alimentos, fibras e energia a partir dos recursos naturais da Terra. Tais sistemas também podem causar efeitos indesejados no meio ambiente (Jones et al., 2017). Neste contexto para o êxito da utilização de plantas tolerantes aos sais é importante avaliar diferentes estratégias de cultivo, a fim de reduzir o impacto da irrigação salina sobre o solo e o ambiente (Peyghan et al., 2020). Sendo assim, é imprescindível a identificação de práticas de cultivo, avaliadas a curto e longo prazo, eficazes em aumentar a produtividade agrícola por unidade de área com o mínimo impacto ambiental.

Nesse contexto os condicionadores de solo representam uma alternativa eficaz para atenuar os impactos da salinidade nas plantas, proporcionando um ambiente de cultivo mais favoráveis e reduzindo os danos nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Chang et al., 2024). Esses condicionadores podem ser divididos em naturais e sintéticos, dentro dessa divisão temos a matéria orgânica, que tem se mostrado eficiente na redução da salinidade do solo, contribuindo para o aumento da produtividade das culturas (Drake et al., 2016). Adicionalmente, podendo influência de maneira benéfica as propriedades físicas e químicas do solo, melhorando sua estrutura, a infiltração de água no solo e a capacidade de troca de cátions (Miranda et al., 2021).

Neste contexto a hipótese desse estudo é que Cultivo de quinoa em áreas semiáridas no Brasil combinado com à aplicação de altas doses de compostos orgânicos ao solo e irrigação salina em intervalos mais longos são uma estratégia eficaz para mitigar os efeitos negativos do estresse salino e hídrico. Assim o objeto desse trabalho foi investigar se a combinação da aplicação de compostos orgânicos e intervalos de irrigação é uma estratégia eficaz para mitigar os efeitos do estresse salino e hídrico, sobre o crescimento e produtividade da quinoa no semiárido do Brasil, e sua influência nas propriedades químicas do solo e nutricionais da quinoa.

2. Revisão bibliográfica

2.1. A salinidade no semiárido brasileiro

Os problemas de salinização em solos são conhecidos há muito tempo, mas sua magnitude e intensidade têm aumentado, resultando na expansão alarmante da área de solos degradados por salinidade e sodicidade (Pedrotti et al., 2015). Essa preocupação é ainda maior quando se sabe que a vegetação natural, que estava em equilíbrio com o balanço hídrico regional, foi retirada e substituída por lavouras sem manejo adequado de irrigação e sem instalação de sistema de drenagem (Gheyi et al., 2022). Neste contexto, no Brasil, o manejo inadequado da irrigação pela água com alto teor salino e falta de drenagem tem contribuído para a salinização dos solos, sendo as áreas salinas encontradas principalmente em perímetros irrigados localizados em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro (Pessoa et al., 2016). Adicionalmente, aproximadamente nove milhões de hectares de solo são afetados pela presença de sais (Fageria; Gheyi, 1997). Além disso, estima-se que aproximadamente 30% da área dos projetos públicos de irrigação do Nordeste brasileiro é afetada por salinidade (Bernardo, 2006). Com um clima predominado por poucas chuvas, que não são bem distribuídas durante o ano, taxas elevadas de evapotranspiração e características do solo que restringem a lixiviação

de sais, as terras irrigadas áridas e semiáridas são pontos de salinização proeminentes (Daliakopoulos et al., 2016).

O processo de salinização decorre de características ambientais e/ou ações antrópicas (Daliakopoulos et al., 2016). Estas ações antrópicas que contribuem ao acúmulo de sais são diversas como a utilização de água contendo elevadas concentrações de sais (Daliakopoulos et al., 2016); prática de irrigação sem sistema de drenagem; aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas com alta concentração de sais (Ribeiro et al., 2010; Kanzari, et al., 2012; Pedrotti et al., 2015; Salvati, Ferrara, 2015). E a salinidade do solo afeta negativamente o crescimento das plantas, a produção de culturas, a qualidade do solo e da água, e eventualmente resulta em erosão do solo e degradação da terra (Zhu, 2001; Corwin; Lesch, 2003). De acordo com o Laboratório de Salinidade dos EUA, solos com condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) > 4 dS m^{-1} a 25°C, porcentagem de sódio trocável (PST) < 15 % e pH (reação do solo) < 8,5 são classificados como solos salinos (Richards, 1954).

Sendo que o acúmulo de sais no solo, tem diferentes graus de severidade, como exemplo as áreas dos perímetros irrigado de Ibimirim e Custódia, ambas pertencente ao Estado de Pernambuco, encontrando-se com alto grau de salinização do solo. No estado do Ceará o distrito de Morada Nova, localizado entre os municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte apresenta salinização do solo induzida por plantações de arroz irrigado (Moreira et al., 2014; (Vasconcelos et al., 2013).

De acordo com a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF, 2011; Castro; Santos, 2013), partes das terras localizadas no Vale do São Francisco, entre os Estados de Pernambuco e Bahia encontram-se em processo de salinização acometendo perdas agrícolas nas mais diferentes escalas de produção, sendo que esta salinidade em áreas irrigadas na região Nordeste é consequência da falta de um manejo adequado de irrigação e da drenagem interna deficiente dos solos juntamente com a evaporação superior à precipitação, onde a excessiva evaporação produz o acúmulo de sais solúveis e o incremento do sódio trocável na superfície do solo (Barros et al. 2004).

A concentração de sais ao longo do perfil do solo prejudica o desenvolvimento vegetal, tendo como resultado baixas produtividades em muitas áreas agrícolas no semiárido brasileiro. Isto estimula os produtores rurais da região a abandonar as áreas, antes produtivas, tornam-se degradas pelo excesso de sais, ocorrendo assim a migração para novas terras que possam suportar os antigos cultivos. A degradação dos solos por sais constitui um fator importante no universo agronômico, haja vista as restrições à exploração agrícola, especialmente em se tratando de regiões áridas e semiáridas, reduzindo sensivelmente a produtividade das culturas a níveis antieconômicos (Albuquerque et al., 2018).

Os impactos dos solos afetados por sais sobre as plantas podem ocorrer direta ou indiretamente. Diretamente impacta no crescimento da planta e microbiota do solo, por meio de efeitos osmóticos e iônicos (Rengasamy, 2016; Taiz et al., 2017) e indiretos dificultando o crescimento das raízes e/ ou a respiração aeróbica das células radiculares e microrganismos (Gheyi et al., 2022). Obviamente, isso não exclui a responsabilidade do homem na salinização de extensas áreas agrícolas (Bezerra, 2006; Albuquerque et al., 2018), uma vez que há evidências de que esse processo ocorreu devido ao manejo inadequado da irrigação e falta de conservação e/ou manutenção do sistema de drenagem (Gheyi et al., 2022).

2.2.Uso de águas salinas na agricultura irrigada

A lacuna entre a oferta e a demanda de água está aumentando devido à distribuição desigual dos recursos hídricos e ao rápido desenvolvimento socioeconômico, principalmente nas regiões áridas e semiáridas do mundo (Ashraf et al., 2015). Estima-se que aproximadamente 70% do total de retiradas globais de água doce seja impulsionada pela agricultura irrigada, representando o maior contribuinte para o consumo humano de água (Chen et al., 2019).

Neste contexto a região semiárida possui um complexo quadro de escassez de água, onde o balanço hídrico anual é negativo, devido à evaporação superior a precipitação (Silva et al., 2019). Assim, em diversas regiões áridas e semiáridas, a irrigação pode ser uma forma de garantir o desenvolvimento e a produção das culturas (Silva et al., 2019). Porém, devido à escassez de água doce, as águas salinas têm sido frequentemente utilizadas para irrigação (Rodrigues et al., 2020) de uma ampla gama de espécies de culturas como o algodão, beterraba sacarina, sorgo, alfafa, espinafre, batata e milho (Hussain et al., 2020).

No entanto, a utilização de água salina na irrigação principalmente em regiões semiáridas pode ser prejudicial à agricultura, devido as altas concentrações de sais, como o cloreto de sódio (Medeiros et al., 2003; Pascale et al., 2015; Sá et al., 2020), limitando a produtividade das culturas, o crescimento e o metabolismo das plantas, ao causar a salinização e degradação ambiental dos solos (Praxedes et al., 2010; Sá et al., 2017). Entretanto, a intensidade do estresse salino depende de fatores como genótipo, manejo da irrigação e adubação. (Rodrigues et al., 2020; Sousa et al., 2021).

Uma preocupação importante é que a aplicação contínua de água salobra ou salina pode fazer com que os sais se acumulem no sistema solo-planta. Este acúmulo de sais tem uma série de efeitos adversos nas propriedades físico-químicas do solo, nos processos biológicos e no crescimento das plantas (Wei, et al., 2016). Lacerda et al. (2011) trabalhando com quatro níveis de salinidade da água de irrigação em um Argissolo Vermelho Amarelo, observaram aumento do pH, da condutividade elétrica do solo, da relação de adsorção de sódio e da percentagem de sódio trocável.

Rodrigues et al. (2018), avaliaram o impacto do uso da água de diferentes salinidades sobre as alterações químicas de um solo cultivado com plantas de milho. Os autores observaram que quando a concentração dos sais da água de irrigação aumentou até 5 dS m^{-1} houve redução nos teores de cálcio e potássio da solução do solo, porém com aumento na salinidade, no teor de sódio e na porcentagem do sódio trocável, limitando o uso do solo para a produção agrícola. Os autores citados observaram que o uso de águas salinas para irrigação pode trazer prejuízos para o solo, o que foi comprovado pelo aumento da condutividade elétrica do solo, indicando aumento da concentração de sais ocasionado pela água utilizada nos cultivos. Isso alerta para o uso de irrigação prolongada com águas salinas sem as devidas estratégias de manejo que visem reduzir os impactos dos sais no solo, podendo acarretar na improdutividade de uma área.

2.3.Matéria orgânica como atenuadora do estresse salino em culturas

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha um papel importante, sendo considerada a principal indicadora da qualidade do solo, servindo de base fundamental

para sustentabilidade da produtividade agrícola (Lal, 2004; 2020); pois através dos seus efeitos diretos, é capaz de modular as condições químicas, físicas e biológicas do solo (Costa; Silva; Ribeiro, 2013). Na realidade, a matéria orgânica é a maior fonte de cargas negativas, sendo responsável tanto pela retenção quanto pela liberação de nutrientes para a solução do solo, especialmente o N, P e S através do processo de mineralização (Santos et al., 2016).

Chamada de húmus, a matéria orgânica do solo é um material composto por carbono orgânico, onde estão presentes resíduos de plantas, microrganismos vivos e mortos em estágios variados de decomposição, a biomassa microbiana, as raízes e a fração mais estáveis. Até atingir seus componentes estáveis (físico-químicas: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina), o material sofre diferentes alterações químicas (Primo et al., 2011).

Neste contexto, algumas pesquisas têm sido realizadas para desenvolver metodologias eficazes para amenizar os efeitos adversos da salinização do solo, com a adição de condicionadores orgânicos (Li et al., 2020a; Manasa et al., 2020), para atenuar a redução no crescimento e na produtividade das plantas cultivadas sob estresse salino (Huang et al., 2012).

Sousa (2015) avaliando o efeito de doses crescentes de esterco bovino em plantas de sorgo submetidas a estresse salino, verificou que a presença do esterco bovino no solo proporcionou menor efeito nocivo às plantas quando irrigadas com águas salinas. Dias et al., (2016), estudando o crescimento e a produção do algodoeiro colorido (cv. BRS Topázio) em solos com valores distintos porcentagem de sódio trocável e doses de matéria orgânica, observaram que o uso de matéria orgânica foi benéfico no cultivo desta planta, em solos salino-sódico. E a adição de uma dose de até 15% de matéria orgânica ao solo de caráter salino-sódico, proporcionou aumento na altura de planta, diâmetro de caule e massa de pluma.

A incorporação de matéria orgânica ao solo promove a mineralização do carbono das diferentes fontes orgânicas liberando nutrientes importantes como P, S, N e micronutrientes, mesmo em níveis elevados de salinidade, diminui a agressividade dos sais à biota do solo, estimulando a germinação e o crescimento das plantas (Silva Junior et al., 2009). De acordo com Taiz e Zeiger (2017), a diferenciação no crescimento vegetativo entre as plantas, quando irrigadas com águas salinas, pode estar relacionada ao teor de matéria orgânica no substrato, pois a matéria orgânica atua diretamente no movimento e retenção de água no solo. Sabe-se que salinidade pode reduzir o potencial hídrico da água no solo, com essa redução a planta tende a realizar o ajustamento osmótico, podendo passar por alterações hormonais e nutricionais.

Dessa forma, como estratégia de mitigar os efeitos da salinidade do solo o uso da matéria orgânica pode reduzir a porcentagem de sódio trocável (PST), aumentar a retenção de água no solo, promover maior agregação de partículas e atuar como fonte de nutrientes, como cálcio, magnésio, nitrogênio e fósforo (Oliveira et al., 2014). Em solos salinos e sódicos, os efeitos da matéria orgânica podem ser bastante positivos ao promover uma diminuição da dispersão promovida pelo sódio (Miranda et al., 2011). Assim, é de suma importância sempre manter os teores de matéria orgânica no solo altos, pois seus benefícios favorecem diretamente a produção agrícola, principalmente como reserva de nutrientes, como condicionadora e melhoradora das características do solo, sendo imprescindível no manejo agroecológico do solo, contribuindo, por essa razão, para aumentar o ajuste osmótico, promovendo maior absorção de água e nutrientes e resultando em maior desenvolvimento das plantas (Medeiros et al., 2012).

2.4.Quinoa como alternativa de cultivo para a agricultura biossalina

A demanda por alimentos está aumentando pelo rápido crescimento da população mundial e a segurança alimentar é uma das principais preocupações deste século. Por outro lado, a produção agrícola enfrenta cada vez mais problemas ambientais como seca, salinidade e impactos negativos das mudanças climáticas. Portanto, o uso efetivo de recursos hídricos e de solo limitados e a inclusão de novas culturas tolerantes a estresses ambientes, como a quinoa, tornaram-se importantes nos sistemas de cultivo (Kaya; Yazar; Sezen, 2015).

Isso leva à investigação e promoção de práticas e técnicas ambientalmente sólidas para evitar mais salinização, bem como pesquisa e uso de plantas tolerantes a sais (halófitas) para produzir alimentos, ração e outros produtos comercializáveis (Turcios et. al., 2021). Neste contexto, a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) é uma planta C3 originária da região andina da América do Sul (Waqas et al., 2017), identificada como uma cultura halófita facultativa, com maior tolerância a sais do que cevada, trigo e milho (Gunes, et al., 2007; Peterson; Murphy, 2015). É, também, famosa por suas excelentes características nutritivas como proteína de alta energia, alta qualidade e sem glúten (González et al., 2015). Além disso, a quinoa provou se adaptar a vários ambientes sob diferentes tipos de estresses abióticos (Hinojosa et al., 2018), é considerada altamente tolerante ao estresse hídrico (Aziz; Akram; Ashiraf, 2018). E tem sido indicada como uma boa alternativa para oferecer segurança alimentar, principalmente diante do cenário mundial futuro previsto de aumento da salinização e aridez (Ruiz et al., 2014).

Considerada uma cultura tolerante à seca, capaz de se desenvolver e produzir grãos de nas condições semidesérticas do Chile, nas regiões montanhosas áridas do noroeste da Argentina, e na área de Altiplano do Peru e Bolívia. Esses ambientes são caracterizados como extremamente áridos, com menos de 200 mm de precipitação anual (Aguilar; Jacobsen, 2003; Fuentes; Bhargava, 2011; González, et al., 2011).

Pesquisadores de diferentes regiões do mundo estão testando a quinoa para verificar a sua adaptação a condições de baixo e alto estresse. Por exemplo no Egito, cinco genótipos de quinoa foram avaliados sob três diferentes regimes de irrigação durante a estação de cultivo, consistindo em tratamentos de irrigação alto (820 mm), moderados (500 mm) e baixos (236 mm) (chuva + irrigação). Os resultados mostraram alta variabilidade em traços morfológicos e rendimento entre genótipos nos diferentes regimes hídricos. Por exemplo, a variedade do nível do mar 'QL-3' apresentou a maior redução no rendimento (56%) sob severo estresse hídrico; a variedade do vale 'CICA-17' apresentou a menor redução (12%) (Al-Naggar, et al., 2017).

Em geral, a quinoa pode tolerar níveis moderados a altos de salinidade, variando de uma concentração de sais de 150 mM NaCl (condutividade elétrica - 15 dS m^{-1}) até 750 mM NaCl (condutividade elétrica - 75 dS m^{-1}) (Orsini, et al., 2011), que é maior do que a salinidade da água do mar (>45 dS m^{-1}) (Adolf; Jacobsen; Shabala, 2013). Por outro lado, a capacidade da quinoa de resistir a diferentes tipos de estresse abiótico tem sido objeto de estudos. Assim, o potencial dessa cultura tem despertado a atenção de cientistas, agricultores e organizações internacionais, diante da escassez crescente de água doce e da progressiva salinização dos solos (Khaitov et al., 2020).

No Brasil, alguns estudos têm sido desenvolvidos nos solos do Cerrado, com adaptação de seleção de variedades para uso em condições de acidez e baixa fertilidade

dos solos. Por outro lado, no semiárido são encontrados alguns solos bem específicos, com valores de pH de neutro a alcalino e podendo ter altos teores de sais, bem como condições climáticas diferenciadas do restante do País. É preciso avaliar a potencialidade de uso desta cultura neste ambiente, a procura de uma alternativa sustentável de produção de alimentos com o uso de águas e solos salinos.

3. Referências

ADOLF, Verena I. et al. Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. **Plant and Soil**, v. 357, n. 1, p. 117-129, 2012.

ADOLF, Verena Isabelle; JACOBSEN, Sven-Erik; SHABALA, Sergey. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 43-54, 2013.

AGUILAR, Pablo Cesar; JACOBSEN, Sven-Erik. Cultivation of quinoa on the Peruvian Altiplano. **Food Reviews International**, v. 19, n. 1-2, p. 31-41, 2003.

ALANDIA, Gabriela et al. Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. **Global Food Security**, v. 26, p. 100429, 2020.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Responsabilidade objetiva na geração de passivo ambiental pela irrigação. **Irriga**, v. 23, n.2, p. 402-412, 2018.

AL-NAGGAR, A. M. M. et al. Genotype and drought effects on morphological, physiological and yield traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Asian J. Adv. Agric. Res**, v. 3, n. 1, p. 1-15, 2017.

ASHRAF, Muhammad et al. Management of brackish water for irrigating sunflower (*Helianthus annuus* L.) through integrated use of potassium and farm yard manure. In: **International Training Workshop on Sustainable Agriculture Water Management in a Changing Environment: A Special Focus on Olive Tree, Rawalpindi**. 2015. p. 111-117.

AZIZ, Aniqa; AKRAM, Nudrat Aisha; ASHRAF, Muhammad. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. **Plant physiology and Biochemistry**, v. 123, p. 192-203, 2018.

BARROS, Maria de FC et al. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 59-64, 2004.

BERNADO, S. SOARES; MANTOVANI, A. A. EC. Manual de Irrigação. 2006.

BEZERRA, Evandro. **A salinização de solos aluviais em perímetros irrigados no estado do Ceará**. DNOCS, 2006.

CASTRO, F.C.; SANTOS, A.M. Desertificação e implicações socioambientais: uma revisão de literatura. In: Semana Universitária da Universidade de Pernambuco. Anais... Petrolina: UPE, p.34-43; 2013.

CHANG, Doudou et al. Effects of soil conditioners on vineyard saline soil physicochemical properties and bacterial community in arid areas. **Land Degradation & Development**, 2024.

CHEN, Yongzhe et al. Recent global cropland water consumption constrained by observations. **Water Resources Research**, v. 55, n. 5, p. 3708-3738, 2019.

CHOUKR-ALLAH, Redouane et al. Quinoa for marginal environments: toward future food and nutritional security in MENA and Central Asia regions. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 346, 2016.

CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales São Francisco e do Parnaíba; EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Salinização no Vale do São Francisco. Petrolina: CODEVASF, 2011.

CORWIN, D. L.; LESCH, Scott M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003.

COSTA, Elaine; SILVA, Helane; RIBEIRO, Paula Rose. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

DALIAKOPOULOS, I. N. et al. The threat of soil salinity: A European scale review. **Science of the total environment**, v. 573, p. 727-739, 2016.

DIAS, Adaan Sudário et al. Crescimento e produção de algodoeiro de fibra colorida cultivado em solo salino-sódico e adubação orgânica. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 260-260, 2016.

DRAKE, Jessica A. et al. Does biochar improve establishment of tree seedlings in saline sodic soils?. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 1, p. 52-59, 2016.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Efeitos dos sais sobre as plantas. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. de. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, p.125-131, 1997.

FERNANDES, Josimar G. et al. Qualidade físico-química das águas utilizadas no perímetro irrigado cachoeira ii, serra talhada, Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 1, p. 27-34, 2009.

FUENTES, F.; BHARGAVA, A. Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 2, p. 124-134, 2011.

GALWEY, N. W. The potential of quinoa as a multi-purpose crop for agricultural diversification: a review. **Industrial crops and products**, v. 1, n. 2-4, p. 101-106, 1992.

GONZÁLEZ, J. A. et al. Genotypic variation of gas exchange parameters and leaf stable carbon and nitrogen isotopes in ten quinoa cultivars grown under drought. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 2, p. 81-93, 2011.

GONZÁLEZ, Juan Antonio et al. Quinoa: an Incan crop to face global changes in agriculture. **Quinoa: Improvement and sustainable production**, p. 1-18, 2015.

GHEYI, Hans Raj et al. Management and reclamation of salt-affected soils: general assessment and experiences in the Brazilian semiarid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, p. 1-19, 2022.

GUNES, Aydin et al. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 6, p. 728-736, 2007.

GURGEL, Marcelo Tavares et al. Produção de mudas de aceloreira sob condições de salinidade da água de irrigação. 2001.

HINOJOSA, Leonardo et al. Quinoa abiotic stress responses: A review. **Plants**, v. 7, n. 4, p. 106, 2018.

HUANG, C. H. et al. Impact of saline water irrigation on yield and quality of melon (*Cucumis melo* cv. Huanghemi) in northwest China. **European Journal of Agronomy**, v. 43, p. 68-76, 2012.

HUSSAIN, Muhammad Iftikhar et al. Crop diversification and saline water irrigation as potential strategies to save freshwater resources and reclamation of marginal soils—A review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 23, p. 28695-28729, 2020.

JONES, James W. et al. Brief history of agricultural systems modeling. **Agricultural systems**, v. 155, p. 240-254, 2017.

KANZARI, S. et al. Characterization and modeling of water movement and salts transfer in a semi-arid region of Tunisia (Bou Hajla, Kairouan)–Salinization risk of soils and aquifers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 86, p. 34-42, 2012.

KAYA, Çiğdem Ince; YAZAR, Attila; SEZEN, S. Metin. SALTMED model performance on simulation of soil moisture and crop yield for quinoa irrigated using different irrigation systems, irrigation strategies and water qualities in Turkey. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 4, p. 108-118, 2015.

KHAN, S.; ABBAS, A. Using remote sensing techniques for appraisal of irrigated soil salinity. **Int. Congr. Model. Simul. (MODSIM), Model. Simul. Soc. Aust. New Zealand, Bright**, n. January, p. 2632-2638, 2007.

KHAITOV, B. et al. Adaptation, grain yield and nutritional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes in marginal environments of the Aral Sea basin. Journal of Plant Nutrition, v. 44, n. 9, p. 1365–1379, 12 dez. 2020.

KIM, Sumin et al. Salinity effects on germination and plant growth of prairie cordgrass and switchgrass. **BioEnergy Research**, v. 5, n. 1, p. 225-235, 2012.

LACERDA, Claudivan F. et al. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 663-675, 2011.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global. Science, v.304, p.1623, 2004.

LAL, R. Soil organic matter content and crop yield. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, n. 2, p. 27A-32A, 1 mar. 2020a.

LI, Shan et al. Remediation of saline-sodic soil using organic and inorganic amendments: physical, chemical, and enzyme activity properties. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 3, p. 1454-1467, 2020.

MACHADO, Rui Manuel Almeida; SERRALHEIRO, Ricardo Paulo. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. **Horticulturae**, v. 3, n. 2, p. 30, 2017.

MANASA, M. R. K. et al. Role of biochar and organic substrates in enhancing the functional characteristics and microbial community in a saline soil. **Journal of Environmental Management**, v. 269, p. 110737, 2020.

MEDEIROS, José F. de et al. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 469-472, 2003.

MEDEIROS, J F.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, I. B. Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. In: Recursos hídricos em regiões semiáridas. GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S; GALVÃO, C. O. (Eds) - Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 258 p.: il.

MIRANDA, Marcelo A. et al. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 484-490, 2011.

MIRANDA, M. F. A. et al. Phytodesalination and chemical and organic conditioners to recover the chemical properties of saline-sodic soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 1, p. 132–145, 1 jan. 2021.

MOREIRA, Luis Clenio J.; TEIXEIRA, Adunias dos Santos; GALVÃO, Lênio Soares. Laboratory salinization of Brazilian alluvial soils and the spectral effects of gypsum. **Remote Sensing**, v. 6, n. 4, p. 2647-2663, 2014.

RAI, Arvind Kumar; BASAK, Nirmalendu; SUNDHA, Parul. Saline and Sodic Ecosystems in the Changing World. In: **Soil Science: Fundamentals to Recent Advances**. Springer, Singapore, 2021. p. 175-190.

RENGASAMY, Pichu. Soil chemistry factors confounding crop salinity tolerance—a review. **Agronomy**, v. 6, n. 4, p. 53, 2016.

RIBEIRO, Mateus R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal**, p. 12-19, 2010.

RICHARDS, Lorenzo Adolph. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. LWW, 1954.

RODRIGUES, Valdécio dos S. et al. Produtividade da cultura do milho irrigado com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 101-105, 2020.

RODRIGUES, V. S. et al. Atributos químicos do solo em área cultivada com milho sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 7, p. 3129-3138, 2018.

ROZEMA, Jelte; FLOWERS, Timothy. Crops for a salinized world. **Science**, v. 322, n. 5907, p. 1478-1480, 2008.

RUIZ, K. B. et al. Quinoa–a model crop for understanding salt-tolerance mechanisms in halophytes. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 150, n. 2, p. 357-371, 2016.

RUIZ, K. B. et al. Martinez-Mos-queira EA. Coulibaly A., Canahua-Murillo A., Pinto M., Zurita-Silva A., Zurita-Sil-va A., Bazile D. Jacobsen E.-S., Molina-Montenegro M. Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. **Agron. Sust. Devel-opment**, v. 34, p. 349-359, 2014.

OLIVEIRA, Leandra B. de et al. Características químicas do solo e produção de biomassa de alface adubada com compostos orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 157-164, 2014.

PASCALE, S. et al. Growth response and radiation use efficiency in tomato exposed to short-term and long-term salinized soils. **Scientia Horticulturae**, v. 189, p. 139-149, 2015.

PEDROTTI, Alceu et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PESSOA, Luiz Guilherme Medeiros et al. Spectral reflectance characteristics of soils in northeastern Brazil as influenced by salinity levels. **Environmental monitoring and assessment**, v. 188, n. 11, p. 1-11, 2016.

PETERSON, Adam; MURPHY, Kevin. Tolerance of lowland quinoa cultivars to sodium chloride and sodium sulfate salinity. **Crop Science**, v. 55, n. 1, p. 331-338, 2015.

PEYGHAN, K.; GOLABI, M.; ALBAJI, M. Simulation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) yield and soil salinity under salinity and water stress using the SALTMED model. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, p. 2361 – 2376, 2020.

PRAXEDES, S. C. et al. Salt tolerance is associated with differences in ion accumulation, biomass allocation and photosynthesis in cowpea cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 196, n. 3, p. 193-204, 2010.

PRIMO, D. C.; MENEZES R. S. C.; SILVA T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011.

SÁ, Francisco V. da S. et al. Tolerance of peanut (Arachis hypogea) genotypes to salt stress in the initial phase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 37-43, 2020.

SÁ, FV da S. et al. Physiology and phytomass of saccharine sorghum (*Sorghum bicolor*) in saline-sodic soil treated with correctives and single superphosphate. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1290-1296, 2017.

SALVATI, Luca; FERRARA, Carlotta. The local-scale impact of soil salinization on the socioeconomic context: An exploratory analysis in Italy. **Catena**, v. 127, p. 312-322, 2015.

SANTOS, R. V. dos; CAVALCANTE, L. F.; VITAL, A de F. M.; LACERDA, C. F.; SOUZA, E. R.; LIMA, G. S.; Interações salinidade-fertilidade do solo. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCT Sal, 2016. 530 p.

SETIA, Raj et al. Salinity effects on carbon mineralization in soils of varying texture. **Soil biology and biochemistry**, v. 43, n. 9, p. 1908-1916, 2011.

SILVA, Cinara Bernardo et al. Manejo da irrigação na cultura da beterraba de mesa sob condições salinas em Alagoas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 2, p. 3285, 2019.

DA SILVA JÚNIOR, José MT et al. Efeitos de níveis de salinidade sobre a atividade microbiana de um Argissolo Amarelo incubado com diferentes adubos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 4, p. 378-382, 2009.

SOUSA, Henderson C. et al. Growth and gas exchange of corn under salt stress and nitrogen doses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 174-181, 2021.

SOUSA, Robson Alexsandro de. Desenvolvimento do sorgo cv. BRS Ponta Negra irrigado com água salobra e submetido a diferentes doses de esterco bovino e biofertilizantes. 2015. 171f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SONGJIE, Y.; FUCHUN, Z.; SHIGUI, L. A New Method for Reforming Salt Soil-Genetic Transformation with Genes Tolerance to Salt. **World Forestry Research**, v. 19, n. 1, p. 14, 2006.

TAIZ, L. et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TURCIOS, Ariel E. et al. Halophyte plants and their residues as feedstock for biogas production—Chances and challenges. **Applied Sciences**, v. 11, n. 6, p. 2746, 2021.

United Nations Environment Program (UNEP). Status of desertification and implementation of the United Nations Plans of Action to Combat Desertification. UNEP, Nairobi, (1991)

VASCONCELOS, Ricardo RA et al. Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1318-1325, 2013.

WAQAS, M. et al. Paclobutrazol improves salt tolerance in quinoa: Beyond the stomatal and biochemical interventions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 203, n. 4, p. 315-322, 2017.

WEI, M. I. N. et al. Irrigation water salinity and N fertilization: Effects on ammonia oxidizer abundance, enzyme activity and cotton growth in a drip irrigated cotton field. **Journal of integrative agriculture**, v. 15, n. 5, p. 1121-1131, 2016.

ZHU, Jian-Kang. Plant salt tolerance. **Trends in plant science**, v. 6, n. 2, p. 66-71, 2001.

Capítulo 1 - Desempenho agronômico da Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sob adubação orgânica e irrigação salina no semiárido de Pernambuco

Resumo

A escassez hídrica no semiárido leva ao uso de águas salobras e/ou salinas, que resulta na salinização dos solos impossibilitando o desenvolvimento vegetal, por isso se faz necessário buscar alternativas, como o uso de matéria orgânica e o cultivo de plantas tolerantes a estresses abióticos como a quinoa, além de métodos de irrigação, que otimizem o uso dessas águas de maneira eficiente e sustentável. Portanto, hipotetizou-seque o cultivo de quinoa no semiárido do Brasil, combinando aplicação de condicionadores orgânicos com intervalos de irrigação, é uma estratégia eficaz para mitigar os efeitos do estresse salino e da escassez hídrica sobre o crescimento e produtividade das plantas. Assim, o objetivo desta pesquisa foi verificar o desempenho agronômico e a resposta fisiológica da *Chenopodium quinoa* cultivada sob irrigação com água salina por meio da aplicação de diferentes turnos de rega, combinado com o uso de matéria orgânica. O experimento foi conduzido em campo no município de Serra Talhada-PE, cultivando plantas de quinoa submetidas a doses crescentes de matéria orgânica (M.O) (esterco bovino) – 0, 15, 30 e 60 t ha^{-1} e três turnos de rega de 48, 72 e 120 h com água salina (1,62 dS m^{-1}). Aos 65 dias após a germinação foram avaliadas transpiração e condutância estomática das plantas, índice de área foliar, em seguida, realizadas as medidas de altura de plantas e as coletas para avaliação da biomassa fresca e seca, com a determinação do índice de colheita. Adicionalmente foram coletadas amostras de solo nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm para a análise da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes). A adição de M.O resultou na redução da CEes do solo, auxiliando na manutenção da condutância estomática e transpiração, além de proporcionar aumento na produção de massa fresca de 56,87% na dose de 30 t ha^{-1} no TR de 120h. Portanto, a aplicação de M.O ao solo pode minimizar os efeitos negativos do estresse salino e hídrico, auxiliando no crescimento da quinoa e na redução da CEes do solo em regiões semiáridas.

Palavras chaves: Sustentabilidade, estresse hídrico, manejo do solo, produtividade, salinidade.

Chapter 1 - Agronomic performance of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under organic fertilization and saline irrigation in the semi-arid region of Pernambuco

ABSTRACT

Water scarcity in the semi-arid region leads to the use of brackish and/or saline waters, which results in the salinization of soils, making plant development impossible, which is why it is necessary to seek alternatives, such as the use of organic matter and the cultivation of plants tolerant to abiotic stresses. such as quinoa, in addition to irrigation methods that optimize the use of these waters in an efficient and sustainable way. Therefore, it was hypothesized that the cultivation of quinoa in the semi-arid region of Brazil, combining the application of organic conditioners with irrigation intervals, is an effective strategy to mitigate the effects of saline stress and water scarcity on plant growth and productivity. Thus, the objective of this research was to verify the agronomic performance and physiological response of *Chenopodium quinoa* cultivated under irrigation with saline water through the application of different irrigation intervals, combined with the use of organic matter. The experiment was conducted in the field in the municipality of Serra Talhada-PE, cultivating quinoa plants subjected to increasing doses of organic matter (O.M) (bovine manure) – 0, 15, 30 and 60 t ha^{-1} and three irrigation intervals (I.I) 48, 72 and 120 h with saline water (1,62 dS m^{-1}). At 65 days after germination, transpiration and stomatal conductance of plants, leaf area index were evaluated, then plant height measurements were taken and collections were carried out to evaluate fresh and dry biomass, with the determination of the harvest index. Additionally, soil samples were collected in layers 0-10, 10-20 and 20-40 cm to analyze the electrical conductivity of the saturation extract (ECes). The addition of O.M resulted in a reduction in soil ECes, helping to maintain stomatal conductance and transpiration, in addition to providing an increase in fresh mass production of 56.87% at a dose of 30 t ha^{-1} at a II of 120 h. Therefore, the application of O.M to the soil can minimize the negative effects of saline and water stress, helping in the growth of quinoa and reducing soil ECes in semi-arid regions.

Key words: Sustainability, water stress, soil management, productivity, salinity.

1. Introdução

A dificuldade na manutenção do fornecimento de água doce pelo mundo está aumentando, representando um risco global (Morante-Carballo et al., 2022). Como destaque, as regiões semiáridas enfrentam um agravamento desse problema, devido ao uso excessivo e desregulado de água com altos teores de sais, tornando-se uma alternativa para uso diante da escassez de água doce, e que gera outro problema a salinização do solo (De Mesquita et al., 2015; Khondoker et al., 2023; Morante-Carballo et al., 2022; Singh, 2022). Esta prática resulta na degradação do solo, comprometendo suas propriedades e diminuindo sua capacidade em atender às necessidades dos cultivos agrícolas (Bello et al., 2021). Este problema surge do acúmulo excessivo de sais no solo, principalmente cloreto de sódio, carbonato de sódio, cloreto de cálcio e cloreto de magnésio, o que dificulta o desenvolvimento agrícola nos solos dessas áreas (Ahmad et al., 2019; Bello et al., 2021).

Neste contexto, estimativas recentes indicam que mais de 1 bilhão de hectares em todo o mundo estão sendo impactados pela presença de sais, com 33% de áreas irrigadas sendo afetadas pela salinização e 50% dessas áreas correndo o risco de se tornarem improdutivas até metade do século 21 (Gheyi et al., 2022; Hao et al., 2021; Hualpa-Ramirez et al., 2024). No Brasil aproximadamente 16 milhões de hectares de solo são impactados por problemas de salinidade, com cerca de 70% dessas áreas localizadas na região semiárida do país (Gheyi et al., 2022).

Com base nisto, se torna crucial explorar métodos alternativos para a gestão sustentável do solo em regiões salinizadas, como a agricultura biossalina. Essa abordagem adota práticas agrícolas integradas e sustentáveis, incluindo o uso de plantas, condicionadores de solo e microrganismos, permitindo o uso de água salina na irrigação e revitalizando solos salinizados e degradados para alcançar uma produção mais eficiente, podendo assim economizar água doce para fins de consumo (Nikalje et al., 2018).

Entre as possibilidades a quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) emerge como uma alternativa promissora para uso na agricultura biossalina, é um pseudocereal proveniente da região Andina na América do Sul. Pertencente à família *Amaranthaceae* e é conhecida por suas espécies halófitas, tolerantes a sais (Egea et al., 2023; Nikalje et al., 2018). É uma planta capaz de suportar temperaturas que variam de -8°C a 35°C conforme o estágio fenológico (Hinojosa et al., 2018). Além disso, podendo se desenvolver sob diversas condições de precipitação variando de 200 mm até 800 mm e sob deficiência hídrica, devido à sua baixa exigência hídrica, sem que haja uma redução severa no seu rendimento produtivo (Hinojosa et al., 2018). Superando culturas como cevada, trigo e milho em termos de tolerância aos sais (Jaikishun et al., 2019; Hinojosa et al., 2018). Dessa forma, as respostas à salinidade que a quinoa possui são uma série de adaptações como a tolerância variável nos estádios de crescimento, alterações no florescimento, alterações na morfologia das plantas e redução da produtividade, além de ser capaz de sobreviver a salinidades superiores à da água do mar. A capacidade de sobrevivência da planta a essas mudanças é crucial para seu crescimento e desenvolvimento e rendimento final (Ain et al., 2023a; García-Parra et al., 2020; Jaikishun et al., 2019; Aly; Al-Barakah; El-Mahrouky, 2018).

Contudo, as propriedades do solo requerem atenção, assim uma estratégia a ser adotada é o uso de matéria orgânica (M.O) para mitigar os efeitos prejudiciais que podem ser causados pelo uso prolongado de águas com altos teores de sais. Uma vez que a M.O influencia diversos atributos do solo como umidade do solo, capacidade de retenção de água, ciclagem de nutrientes, capacidade de troca catiônica e os ciclos dos principais nutrientes das plantas, como N e P (Navarro-Pedreño; Almendro-Candel; Zorpas, 2021). Nesse contexto, a relevância da matéria orgânica do solo na manutenção e melhoria da qualidade do solo tem ganhado destaque (Abbas et al., 2022; He et al., 2020). Principalmente no cultivo da quinoa para minimizar danos causados pelas condições de solo e clima, incluindo o uso de adubos orgânicos de origem bovina e caprina (El Mouttaqi et al., 2023), bem como o biochar caracterizado por ser material poroso rico em carbono derivado de restos vegetais (He et al., 2020).

Assim, a aplicação de doses de compostos orgânicos tem se mostrado eficiente nessas condições, segundo evidências apresentadas por El Mouttaqi et al., (2023); Benaffari et al., (2022); Mouttaqi et al., (2022); Toubali et al., (2022); Ding et al., (2020) concluindo que adubação orgânica pode beneficiar o cultivo de quinoa, otimizando seu crescimento, processos fotossintéticos, relações hídricas, além disso, contribui para o aumento na produção de grãos e de biomassa seca, e promove benefícios para as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, especialmente sob condições de salinização por uso inadequado de irrigações com águas salinas.

A implementação dessa técnica de manejo do solo para o uso de água salina em sistemas de irrigação, tem sido objeto de estudo em diversas regiões semiáridas do mundo. O objetivo é atenuar os impactos negativos no crescimento vegetal causados pelo acúmulo excessivo de sais oriundos da água de irrigação. Esta abordagem é importante para garantir a sustentabilidade agrícola em ambientes adversos, sendo cada vez mais necessária para a manutenção da produção agrícola. Por outro lado, a capacidade da quinoa de resistir a diferentes tipos de estresse abiótico tem sido objeto de estudos. Assim, o potencial dessa cultura tem despertado a atenção de cientistas, agricultores e organizações internacionais, diante da escassez crescente de água doce e da progressiva salinização dos solos (Khaitov et al., 2020).

Torna-se fundamental realizar investigações sobre o manejo da irrigação para o cultivo de quinoa em zonas onde as condições hídricas são limitadas e com teores elevados de sais, pois, segundo Beyrami et al., (2020) o estudo de intervalos de irrigação no cultivo da quinoa é uma questão importante em áreas com água limitada para sustentar a produtividade, maximizando o uso da água na irrigação. Algosaibi et al., (2017) estudando diferentes intervalos de irrigação (duas vezes por semana, uma vez por semana e uma vez em duas semanas) e utilizando água salina de CE 1,95 dS m^{-1}, indicaram que a quinoa tem baixa exigência hídrica e seu crescimento não é afetado por intervalos de irrigação mais espaçados como a cada duas semanas. Neste contexto, Yang et al., (2020a) investigaram o cultivo de quinoa sob condições salinas, aplicando um déficit de irrigação e doses de biochar como corretivo orgânico, verificaram que a quinoa conseguiu manter seu crescimento, apresentando melhorias na fotossíntese e nas relações hídricas.

Portanto, a combinação de intervalos de irrigação e aplicação de M.O ao solo em áreas de cultivo no semiárido podem proporcionar a utilização de águas salinas no cultivo de espécies vegetais tolerantes a condições estressantes, como solos salinos,

ajudando a minimizar os impactos nas propriedades do solo, como no Nordeste do Brasil (Abrantes et al., 2024; Miranda et al., 2021; Navarro-Pedreño; Almendro-Candel; Zorpas, 2021). Assim, o objetivo desse estudo foi verificar o crescimento, desenvolvimento vegetativo e a produção de grãos de quinoa cultivada sob irrigação com água salina, mediante com a aplicação de diferentes turnos de rega e aplicação de matéria orgânica ao solo, como estratégia para mitigar as condições de estresse.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido em campo em uma área de 800 m^2 (20 x 40m), implantado em um Cambissolo Háplico Eutrófico, situado na área experimental da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no município de Serra Talhada-PE, Brasil (Figura 1). A área está situada em uma região semiárida, segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BSwh' sendo denominado semiárido quente e seco, com chuvas de verão, iniciando em dezembro com término em abril (Alvares et al., 2013).

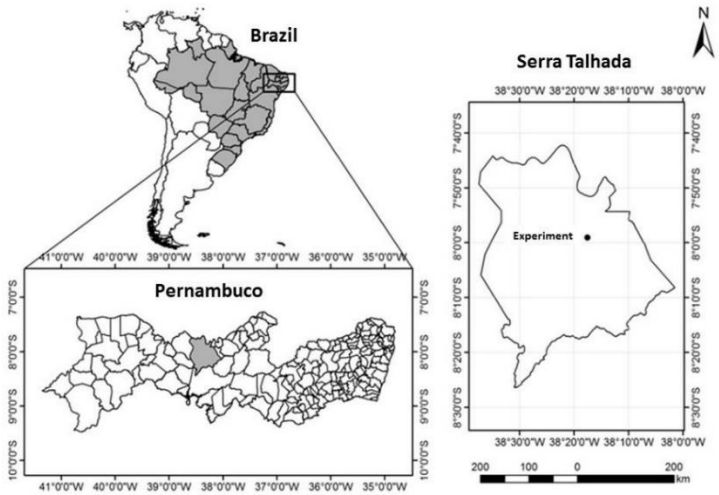

Figura 1. Localização da área experimental situada no município de Serra Talhada-PE

2.2. Design e tratamentos experimentais

No experimento foram cultivadas plantas de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) submetidas a doses crescentes de matéria orgânica e diferentes turnos de rega. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, arranjados em esquema fatorial (4 x 3), sendo quatro doses de matéria orgânica (Esterco bovino) – 0, 15, 30 e 60 t ha^{-1} e três turnos de rega (48, 72 e 120 h), com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais. As plantas de quinoa foram irrigadas com água salina classificada como de alta salinidade e baixa sodicidade (C3S1) (Tabela 1), de acordo com a classificação de Richards (1954).

Tabela 1. Atributos químicos da água utilizada na irrigação do experimento

pH	CE mS cm^{-1}	Dureza-$CaCO_3$ (mg L^{-1})	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	RAS	Bicarbonato
			($mmol_c$ L^{-1})					
6,63	1,68	610,5	5,83	6,37	2,04	11,69	0,83	3,70

RAS = Razão de adsorção de sódio, CE = Condutividade elétrica

2.3. Procedimentos de condução experimental

Antes do preparo do solo foi efetuada uma coleta de amostras de solo na área experimental, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, para fins de caracterização físico-química do solo (Tabela 2).

A área foi limpa mecanicamente e submetida a duas gradagens para preparo do solo. Em seguida, as doses de matéria orgânica foram aplicadas e incorporadas ao solo manualmente na profundidade de 0-20 cm com auxílio de enxada. A semeadura foi realizada diretamente sobre o solo, utilizando a cultivar BRS Piabiru com espaçamento de 40 x 40 cm, o que representou uma densidade de 120.000 plantas ha^{-1}, colocando-se de 5 a 10 sementes por cova, na profundidade de 1 a 2 cm. O desbaste foi realizado aproximadamente 20 dias após a emergência, deixando-se duas plantas por cova. As parcelas foram compostas por 4 fileiras de 2 m de comprimento cada, sendo as duas linhas centrais a área útil. Apenas as plantas da área útil foram usadas para avaliações.

Para não haver interferência na efetividade da adubação orgânica, não se realizou adubação química. A irrigação foi realizada por gotejamento, com três turnos de rega de 48, 72 e 120 h aplicando-se uma lâmina de irrigação equivalente a 100% da ETc para cada fase fenológica utilizando o Kc da cultura de acordo com (Garcia; Raes; Jacobsen, 2003b). A irrigação foi suspensa aos 80 dias após a emergência das plantas, para facilitar a maturidade fisiológica das sementes, e a colheita das sementes realizada aproximadamente 94 dias após a semeadura, para avaliação da produtividade da quinoa.

Tabela 2. Atributos físico-químicos do solo nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm da área experimental da quinoa na Unidade Acadêmica de Serra Talhada UFRPE/UAST

Atributos		Camada (cm)		
		0-10	10-20	20-40
		Químicos		
pH		6,87	6,71	6,67
P	(mg dm^{-3})	62,6	54,1	56,6
Ca^{2+}		3,52	3,42	3,57
Mg^{2+}		1,38	1,52	1,5
K^{+}		0,69	0,55	0,5
Na^{+}	(cmolc dm^{-3})	0,04	0,04	0,02
Al^{3+}		0	0	0
H+Al		1,27	1,05	1,27

S		5,63	5,53	5,59
T		6,91	6,58	6,86
CE	(dS m^{-1})	0,43	0,35	0,34
		Físicos		
Ds	(g cm^{-3})	1,34	1,41	1,44
Dp		2,5	2,44	2,27
Areia		87,04	88,97	87,63
Argila	(%)	6,74	4,74	6,08
Silte		6,22	6,29	6,28

S = Soma de bases; T = Capacidade de troca de cátions; CE = condutividade elétrica; Ds = densidade do solo; Dp = densidade das partículas

Para determinação da lâmina de água aplicada durante o experimento, utilizaram-se dados climáticos obtidos por meio da estação meteorológica automática do INMET, situada na Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Assim, a lâmina total de água aplicada foi de 205,17 mm, somando-se a isso o volume acumulado da chuva (precipitação) que foi de 244,3 mm durante os meses de março a junho, período de realização do experimento (Figura 2).

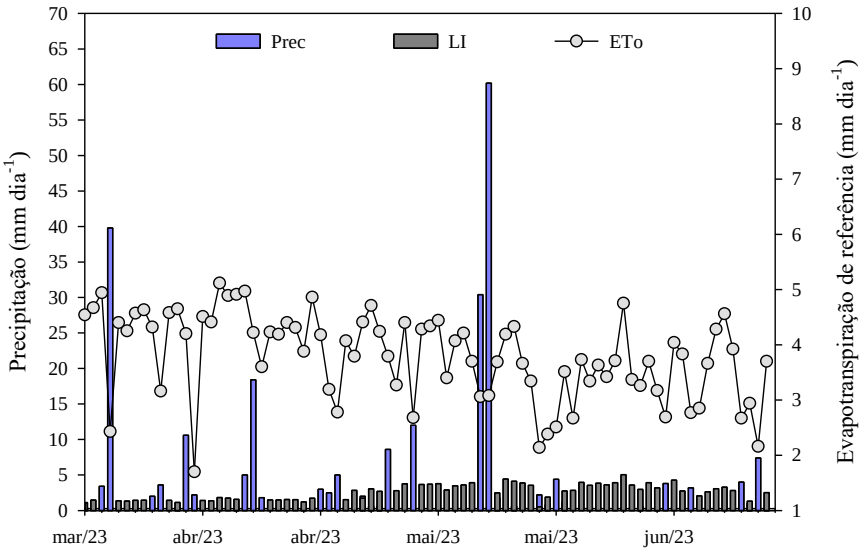

Figura 2. Condições meteorológicas no município de Serra Talhada-PE no período de realização do experimento. (Prec) Precipitação e (ETo) evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e a (LI) lâmina de irrigação aplicada (mm dia^{-1}).

2.4. Avaliações morfofisiológicas

As plantas de quinoa foram avaliadas aos 65 dias após a germinação investigando as respostas das trocas gasosas sobre as condições salinas e estresse hídrico, em relação aos seguintes parâmetros: transpiração (E) e condutância estomática (gs), através de um analisador de gás infravermelho (IRGA – modelo LiCor-6400, LI-Cor Bioscience, NE, EUA) pela manhã no horário de 9 h até 11 h. Após as medidas de trocas gasosas, procedeu-se avaliação do índice de área foliar (IAF) utilizando o AccuPAR (Ceptômetro LP-80, METER Group, EUA). Aos 65 dias do ciclo da quinoa, foi realizada a medida de

altura de plantas e em seguida foi realizada a coleta para avaliação da biomassa fresca cortando as plantas a aproximadamente 3 cm acima do solo e separando em caule, folha e panícula. Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa de circulação de ar por 72h a 65°C para obtenção da biomassa seca.

2.5. Avaliação da salinidade do solo

Para a avaliação da salinidade do solo, foram coletadas amostras de solo após o final do ciclo da quinoa nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm sendo submetidas a avaliação da condutividade elétrica (CEes a 25°C), dessa forma, 200 g de solo foram pesados e misturados com água destilada até o atingir ponto de saturação, permanecendo em descanso por um período de 24 h. Após esse tempo, procedeu-se a extração por vácuo e em sequência realizada à medida da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (CEes a 25°C), pelo método descrito por Richards (1954).

2.6. Medidas auxiliares ou secundárias

Com os dados obtidos da planta foi determinado o índice de colheita por meio do rendimento de grãos dividido pela matéria seca da parte aérea segundo a equação 1.

$$\boldsymbol{IC}\ (\%) = \frac{RENDIMENTO\ DE\ GRÃOS}{MASSA\ SECA\ TOTAL\ DA\ PARTE\ ÁREA}\ X\ 100 \qquad (1)$$

2.7. Tratamentos dos dados e análise estatística

Os dados obtidos foram testados quanto à normalidade e homoscedasticidade utilizando o teste de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Posteriormente os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e análise de regressão polinomial para o efeito de interação (fator dose de M.O x fator turno de rega). As médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade quando não houve efeito de interação utilizando-se o software Rstudio (R Core Team, 2019). Os gráficos foram elaborados utilizando o software SigmaPlot v. 11.0 (Systat Software Inc., San Jose, California, USA).

3. Resultados

3.1. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo

Observa-se na Figura 3A que a condutividade elétrica (CE_{es}) do solo na profundidade de 0-10 cm foi significativamente afetada pela aplicação de matéria orgânica (M.O.) e pelo turno de rega de 120 h ($p<0,05$). Assim, há uma redução da CEa com o aumento da M.O, com o menor valor observado na dose de 60 t ha^{-1} com 1,20 dS m^{-1}. Além disso, no TR de 72 h, o comportamento segue o mesmo padrão, apresentando a menor condutividade elétrica na dose de 60 t ha^{-1} de M.O. No entanto, o TR de 48 h apresenta uma tendência de aumento da CE com adição de M.O ao solo, principalmente nas maiores doses de 30 e 60 t ha^{-1}.

Na profundidade de 10-20 cm, houve efeito significativo das doses de M.O. na condutividade elétrica ($p<0,05$), com um ajuste quadrático (Figura 3B). No TR de 48 h, ocorreu aumento da CE do solo com a aplicação de M.O., valor de 1,47 dS m^{-1} na dose de 60 t ha^{-1}. Enquanto no TR de 72 h e de 120 h tem o comportamento inverso com

redução principalmente nas doses de 30 e 60 t ha^{-1} (Figura 3B), chegando a valores de 0,94 dS m^{-1} e 0,81 dS m^{-1} respectivamente.

Ao analisar a CE do solo na profundidade de 20-40 cm, o gráfico houve efeito significativo da interação entre os tratamentos (p<0,05), com um ajuste quadrático. Então, mais uma vez, no TR de 120 h foi observada uma diminuição da CE com o aumento das doses de M.O., sendo a dose de 60 t ha^{-1} a mais eficiente, com uma CE de 0,70 dS m^{-1} (Figura 3C). Por sua vez, o TR 72h também teve uma resposta à adição de M.O ao solo, porém apresentou tendência de aumento, mas com uma redução da CE na dose de 30 t ha^{-1}, ficando em 0,80 dS m^{-1}, similar ao encontrado no TR 120h (figura 3C). Entretanto, no TR 48h houve aumento da CE conforme aplicação da M.O.

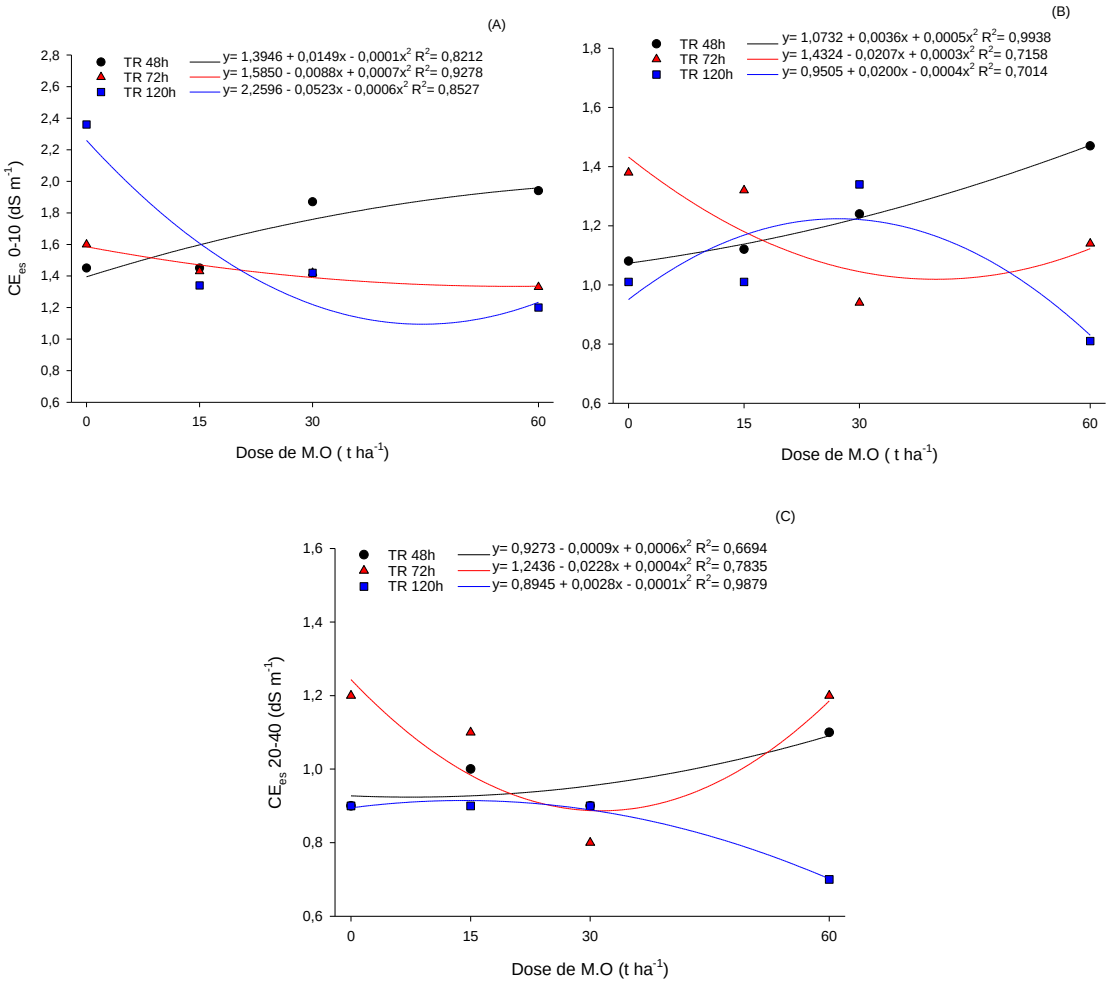

Figura 3. Condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm sob cultivo de plantas de quinoa irrigadas com diferentes turnos de rega com água salina e doses de matéria orgânica.

3.2. Trocas gasosas

Foi observado efeito significativo da interação dos tratamentos aplicados na condutância estomática (gs) da quinoa (p<0,05), assumindo-se um ajustamento quadrático (Figura 4A). Notavelmente, com maior frequência de irrigação representada pelo TR 48h, há uma diminuição da abertura dos estômatos em função do aumento da dose de matéria orgânica (M.O) no solo. Isso é evidenciado pelo valor mínimo de

249,84 mmol.m^{-2}s^{-1}, que corresponde à menor valor de transpiração (E) de 3,24 mmol.m^{-2}s^{-1}, observada na dose equivalente a 60 t ha^{-1} (Figura 4B).

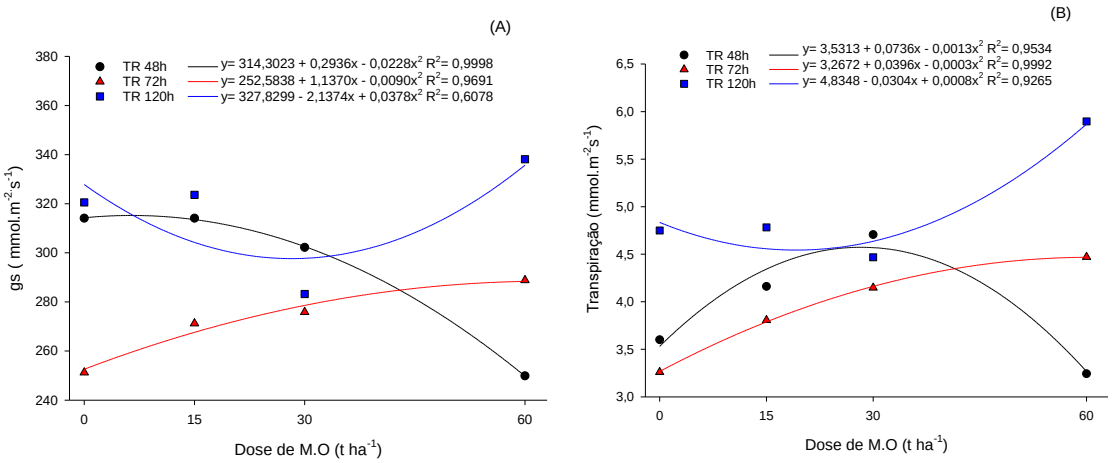

Figura 4. Variação da condutância estomática (A) e transpiração (B) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica

No entanto, estas variaveis das plantas submetidas ao TR 72 h tiveram comportamento inverso às plantas do TR 48 h (Figura 4A e B). Comparativamente, os valores superiores de condutância e transpiração das plantas na dose equivalente a 60 t ha^{-1} foram superiores às do TR 72 h, atingindo, 288,80 mmol m^{-2} s^{-1} para condutância e 4,47 mmol m^{-2} s^{-1} para a transpiração. Além disso, este desempenho foi semelhante ao observado nas plantas sob o TR de 120 h, observando-se uma tendência de aumento na abertura dos estômatos (Figuara 4A), consequentemente, a transpiração seguiu o mesmo comportamento (Figura 4B).

3.3. Produção de biomassa da quinoa

Para a massa fresca, observou-se um efeito significativo da interação dos tratamentos testados (p<0,05), com um ajuste quadrático. As plantas submetidas ao TR de 48 h apresentam um incremento na produção da massa fresca do caule nas doses equivalentes a 15 e 60 t ha^{-1} de M.O com um aumento de 0,34% e 7,31% respectivamente (Figura 5A). Contudo, verificou-se que as plantas sob o TR de 72 h apresentaram comportamento semelhante às do TR 48 h, notando-se um aumento correspondente nas mesmas doses de M.O., alcançando valores de 96,64 g g^{-1} e 125,46 g g^{-1}, representando um incremento de 1,29% e 31,51% respectivamente. Entretanto, as plantas sob o TR de 120 h demonstraram um resultado inferior com uma tendência decrescente na produção de massa fresca do caule registrando 103,78 g com aplicação de 60 t ha^{-1}, em comparação com as plantas sob os TR de 48 e 72h.

Na produção de massa fresca da folha os tratamentos influenciam no desempenho das plantas (Figura 5B). Entretanto, nas plantas sob os TR de 48 e 72 h, a aplicação da dose de 60 t ha^{-1} de M.O., resultou na melhor produção de massa fresca das folhas, com 67,88 e 65,50 g g^{-1}, representando um incremento de 44,27% e 28,38% respectivamente, em comparação com a dose zero (sem adição de matéria orgânica) em que as plantas submetidas ao TR de 48 e 72 h produziu 47,05 e 51,02 g g^{-1}. Por outro

lado, as plantas sob o TR de 120 h, como no caule apresentou um aumento com a adição da matéria orgânica, com produções superiores a das plantas sob o TR de 48 e 72 h, como nota-se na dose de 30 t ha^{-1} com 94,80g equivalente a um incremento de 72,83% (Figura 5B).

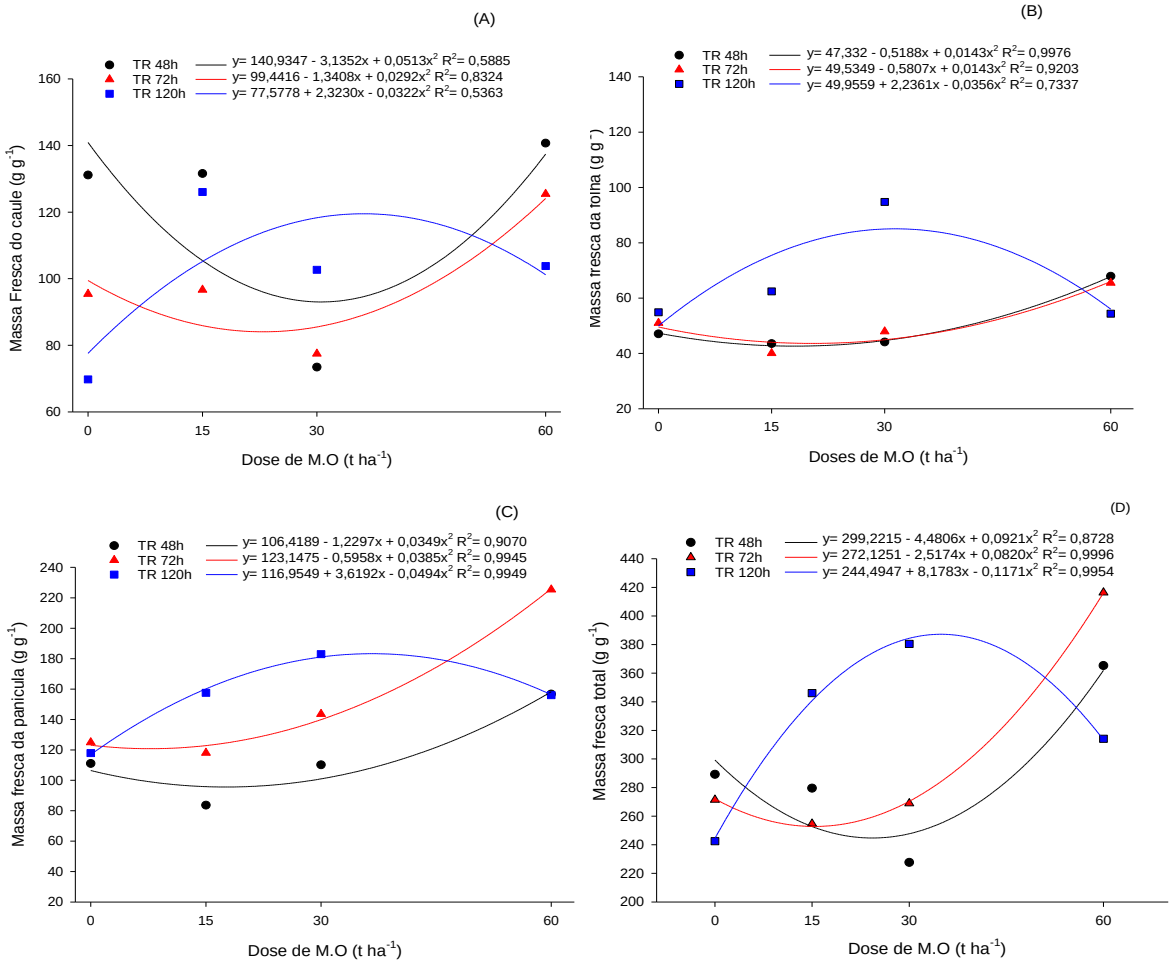

Figura 5. Massa fresca do caule (A), folha (B), panícula (C) e total (D) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica.

A produção de massa fresca da panícula das plantas de quinoa submetida ao TR de 48 e 72h foram influenciadas positivamente (Figura 5C). Observando-se um aumento com aplicação da dose de 60 t ha^{-1} de M.O., resultando no maior acúmulo de massa fresca das panículas. Para as plantas sob o TR de 48 h esse valor foi 156,72 g g^{-1} representando um aumento de 40,28%, enquanto para as plantas submetidas ao TR de 72 h esse valor foi 225,40 g g^{-1} representando um incremento de 80,36% (ver Figura 5C). Por outro lado, as plantas de quinoa com aplicação do TR de 120 h diferiu dos demais, apresentando um aumento da massa fresca das panículas com aplicação de M.O., sendo superior. Adicionalmente, destaca-se a dose de 30 t ha^{-1} como superior entre todas as testadas com 182,99 g g^{-1} (Figura 5C), representando um incremento de 55,19%. Portanto, na massa fresca total das plantas, observou-se que a adição de matéria orgânica nas plantas submetidas aos turnos de rega de 48h e 72h, na quantidade de 60 t ha^{-1} proporciona maiores acúmulos de massa fresca, porém, para as plantas no TR de 120 h a dose de 30 t ha^{-1} resultou em um aumento na produção de 56,87% (figura 5D).

A interação dos tratamentos aplicados teve um efeito significativo na produção de massa seca (p<0,05), seguindo um ajuste quadrático. Nota-se que o acúmulo de massa seca do caule das plantas sob o TR de 48 h com aplicação de 60 t ha^{-1} de M.O com produção de 46,03 g g^{-1}, sendo similar a dose zero com 46,06 g g^{-1} (Figura 6A). No entanto, as plantas de quinoa submetidas ao TR de 120 h mostrou-se superior as plantas sob o TR de 48 h, com as doses testadas superando o tratamento sem adição de matéria orgânica ao solo, conforme a figura 6A, destacando a produção 90,48 g g^{-1} para 30 t ha^{-1} e 85,98 g g^{-1} para 15 t ha^{-1} representando os melhores resultados com aumentos de 84,69% e 75,51% respectivamente. Além disso, as plantas com aplicação do TR de 72 h não alcançaram bons resultados para aplicação dos tratamentos, apresentando um R^2 = 0,53 para a variação dos resultados, mas destacando a dose de 60 t ha^{-1}, obtendo a melhor produtividade.

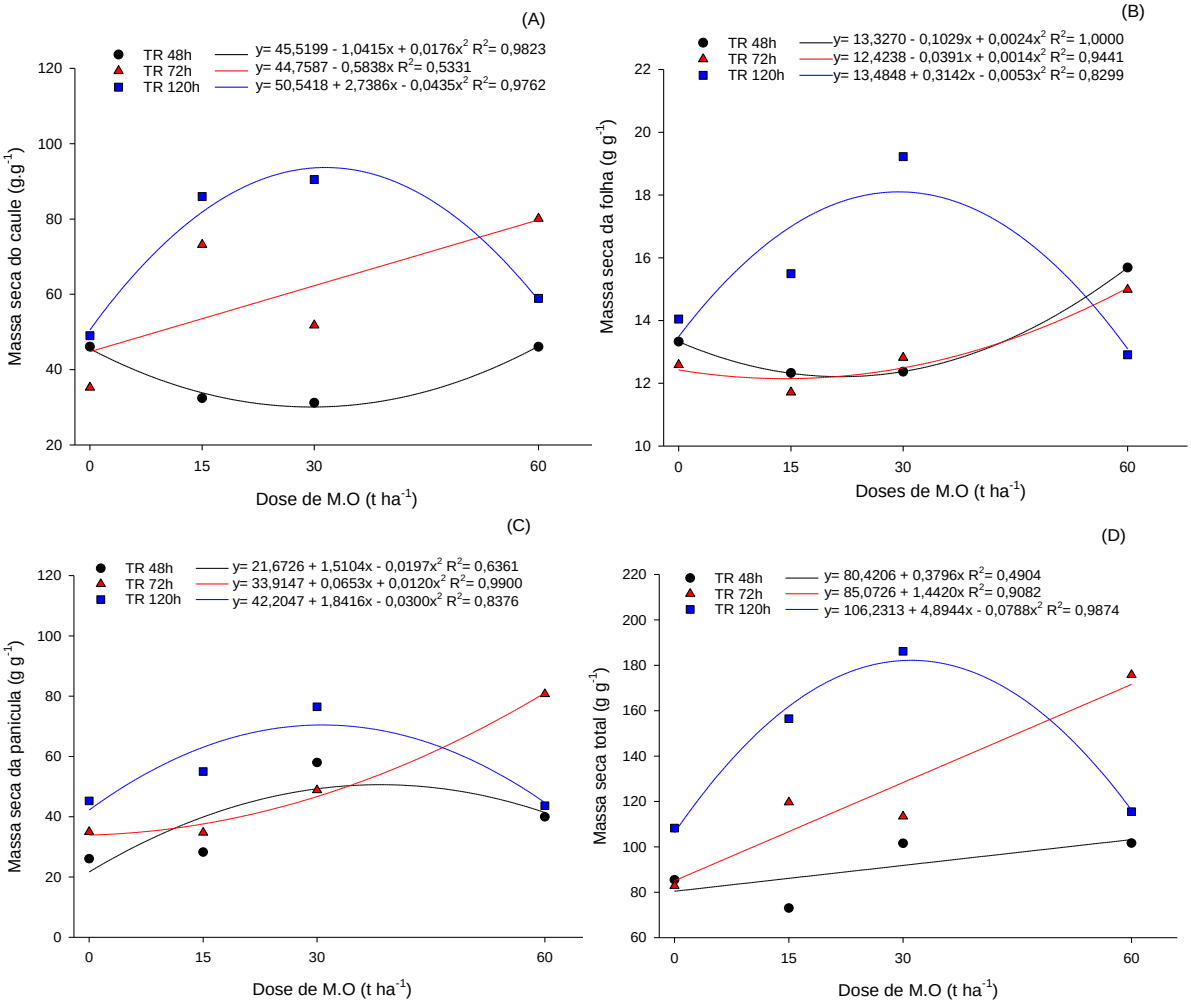

Figura 6. Massa seca do caule (A), folha (B), panícula (C) e total (D) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica.

Na massa seca das folhas os tratamentos aplicados influenciaram sua produção, seguindo um ajustamento quadrático (Figura 5B). Nas plantas sob o TR de 48 e 72 h, a dose de 60 t ha^{-1} foi a única superior ao tratamento sem adição de matéria orgânica, com produção de 15,69e 14,98 g g^{-1} representando um incremento de 17,79% e 18,98%

respectivamente, em relação a dose zero com 13,32 e 12,59g g^{-1} para as plantas submetidas ao TR de 48 e TR de 72 h respectivamente. Esse comportamento é semelhante ao observado nas plantas sob o TR de 120 h, onde o tratamento com a aplicação de 30 t ha^{-1} se destaca na produção de massa seca das folhas com um aumento de 36,80% alcançando 19,22 g g^{-1} (Figura 6B).

Para a massa seca das panículas, as plantas de quinoa submetidas ao TR de 48 h mostrou um resultado significativo. Dessa forma, a maior produção observada na dose de 30 t ha^{-1} com 57,99 g g^{-1}. Porém, nas plantas sob o TR de 72 h observou-se uma relação positiva da produtividade da panícula com adição de M.O ao solo assumindo-se um R^2 = 0,92. Conforme a figura 6C as doses de 30 e 60 t ha^{-1} superaram o tratamento sem aplicação de matéria orgânica, com valores de 48,82 e 80,71 g g^{-1} respectivamente. Por outro lado, a quinoa sob o TR de 120 h a dose 30 t ha^{-1} foi a melhor com 76,48 g g^{-1} de massa seca das panículas, com incremento de 69,13%. Assim, a massa seca total da planta tem melhor produção sob o TR de 120 h, seguindo o padrão observado para o caule, folha e panícula (Figura 6A, B, C e D), enquanto as plantas submetidas ao TR de 48 h apresentaram as menores massa seca da planta.

3.4. Altura de plantas

Na altura das plantas, observou-se um efeito significativo da interação dos tratamentos (p<0,05), com um ajuste quadrático. Assim, as plantas com aplicação do TR de 48 h apresentaram a maior altura na dose 15 t ha^{-1} com o valor de 150,48 cm, seguido por um decréscimo com aumento da matéria orgânica acima dessa dose (Figura 7). Esse comportamento é semelhante ao observado nas plantas sob o TR de 72 h, especificamente com a dose de 30 t ha^{-1}. Nas plantas submetidas ao TR de 120 h não houve uma relação com adição de M.O., dessa forma os resultados não apresentaram um efeito significativo positivo (p = 0,86).

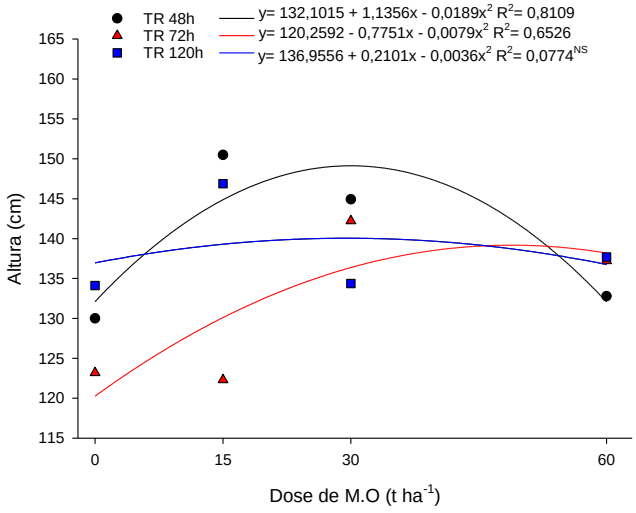

Figura 7. Altura (cm) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica.

3.5. Índice de área foliar

Os tratamentos demonstraram um efeito significativo no índice de área foliar (IAF) (p<0,05), seguindo uma tendência quadrática. As plantas com aplicação doTR de 72 h tem o maior IAF na dose de 60 t ha^{-1}, com 2,22 m^2. Em contraste, no TR de 120 h observou-se o menor IAF com 1,14 m^2 no tratamento sem matéria orgânica (Figura 8). Nesse turno de rega, destacou-se a dose de 30 t ha^{-1}, que registrou o IAF de 2,42 m^2, o mais elevado entre os tratamentos testados, indicando uma relação de redução com níveis mais altos de M.O. Por outro lado, as plantas sob o TR de 48 h apresenta valores intermediarios entre os três turnos de rega, com a dose de 30 t ha^{-1} alcançando um IAF de 1,92 m^2.

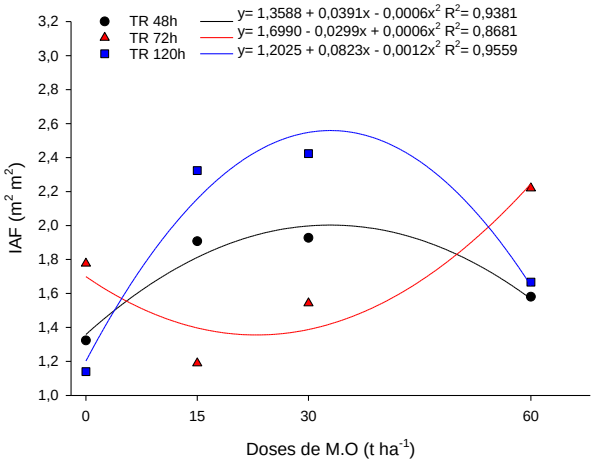

Figura 8. Alterações do Índice de área foliar (IAF) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica.

3.6. Índice de colheita e produtividade de grãos

No índice de colheita (I.C) da quinoa observou-se um efeito significativo apenas das aplicações dos turnos de rega (p<0,05) (Figura 9A). Isso significa que as plantas sob o TR de 48 h apresentaram os maiores I.C registrando 37,89% (0,3789), indicando um ótimo rendimento de produtividade. No entanto, não houve diferença significativa entre as plantas submetidas ao TR de 72 e 120 h para o I.C, conforme evidenciado pelo teste de Scott-knott (p<0,05). Os valores do índice de colheita para ambas as plantas sob os TR foram de 28,92% e 27,47% respectivamente (Figura 9A). Além disso, a produtividade de grãos da quinoa não apresentou uma diferença significativa para aplicação dos tratamentos testados (p<0,05) (Figura 9B).

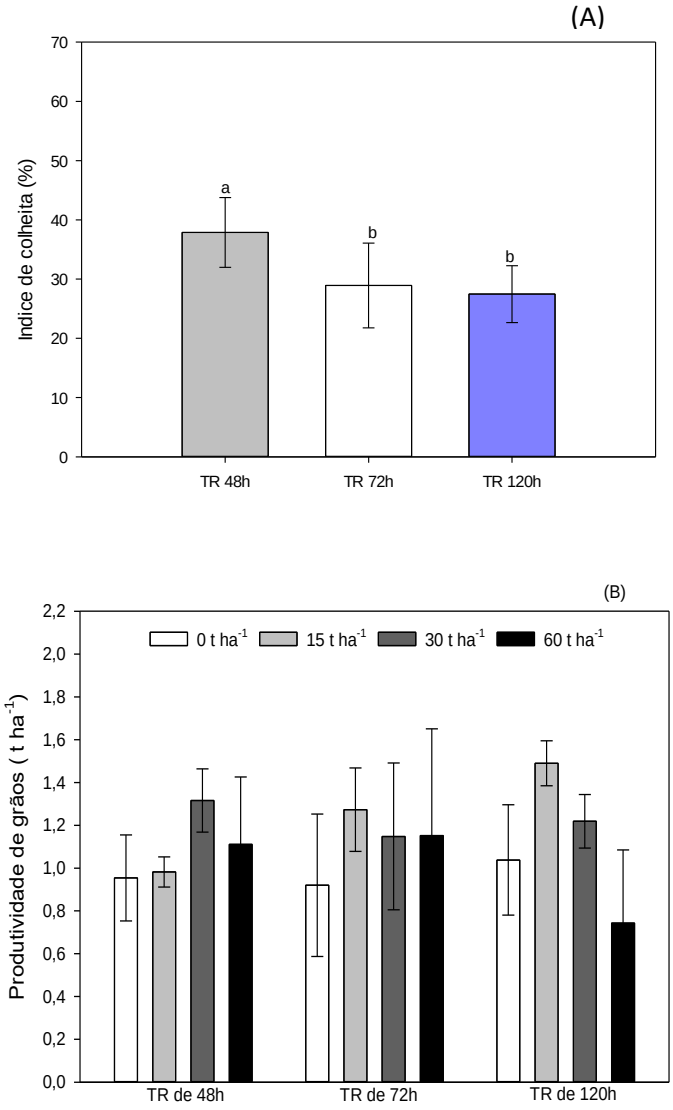

Figura 9. Índice de colheita (A) e produtividade de grãos (B) de plantas de quinoa cultivadas sob diferentes turnos de rega e doses de matéria orgânica.

4. Discussão

4.1. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo

A aplicação dos turnos de rega utilizando água salina na irrigação promoveram um pequeno aumento da condutividade elétrica do solo (CEes) nos TR de 48 e 72 h principalmente no tratamento sem adição de matéria orgânica, e uma diminuição no TR de 120 h, mas não havendo a salinização do solo nas diferentes camadas avaliadas. Isso se deve ao efeito das diferentes doses de matéria orgânica aplicada no solo, que contem substâncias húmicas que são condicionantes das propriedades do solo e compostos orgânicos solúveis ricos em radicais carboxílicos que interagem com cátions presentes na solução do solo, como o Na^+ advindo da irrigação, assim essa interação torna mais fácil sua lixiviação pelatextura do solo ser arenosa (Tabela 3) facilitandoa lixiviação de sais (Bettiol et al., 2023). Este resultado corrobora com os trabalhos de Alcívar et al. (2018) e de Gupta et al. (2016), relatando que aditivos orgânicos foram efetivos na

diminuição significativa da CE do solo em comparação ao tratamento controle. E diferem dos resultados observados por Rekaby et al. (2023) que observaram que a adição de matéria orgânica em altas doses aumentou a CE do solo.

4.2. Trocas gasosas

As condições ambientais podem provocar estresses nas plantas, sendo o hídrico e o salino dois dos principais a afetar o funcionamento fisiológico da planta, induzindo a promover alterações que dependem da intensidade do estresse (Silva et al. 2023). No presente estudo, a quinoa teve redução da abertura dos estômatos das plantas sob o TR de 48 h, em resposta as condições hídricas testadas e à salinidade da água, o que, consequentemente afetou a transpiração. De acordo com Killi; Haworth (2017), a quinoa sob estresse hídrico e salino sofre uma rápida redução da condutância estomática para se adaptar às condições hídricas limitantes para manter o potencial hídrico foliar característico do comportamento isohídrico. Este comportamento é similar ao encontrado por Yang et al. (2020), que utilizando irrigação salina com aplicação de déficit hídrico na quinoa, verificaram que as plantas apresentaram uma diminuição acentuada da condutância estomática. Esta descoberta ressalta a capacidade de adaptação da quinoa sob condições de estresse hídrico e salino, contribuindo para o entendimento de práticas agrícolas sustentáveis em ambientes desafiadores.

Além disso, de acordo com Silva et al. (2021) e Flexas et al. (2014), considera-se que o estresse hídrico é severo quando a condutância estomática está abaixo de 100 $mmol.m^{-2}s^{-1}$. No entanto, os valores mínimos encontrados em nosso estudo superam este limite. Isso sugere que os intervalos de irrigação mais longos são mais eficazes para manutenção de umidade do solo, melhorando a disponibilidade hídrica e consequentemente, a condutância estomática. Um exemplo concreto é observado nas plantas sob a dose 15 t ha^{-1} de M.O. e o TR de 48 h (Figura 3A). Nessas perspectivas, a introdução da matéria orgânica no solo pode resultar em melhoria nas condições fisiológicas das plantas para enfrentar o estresse salino. Isso ocorre devido ao aumento do teor de água no solo e pela liberação de substância orgânicas que auxiliam na remoção do excesso de sódio no solo, contribuindo para uma melhor hidratação das plantas (Palansooriya et al., 2019).

A condutância estomática e a transpiração da quinoa sob os TRs de 72 e de 120 h aumentaram em função da aplicação da matéria orgânica no solo, que auxiliou na melhor retenção de água. Este efeito pode ser atribuído a uma melhorar da estrutura do solo, promovendo melhor aeração, que favorece a capacidade de armazenamento de água no solo (Diacono; Montemurro, 2015). No entanto, estes resultados diferem dos obtidos por Hirich; Choukr-Allah; Jacobsen (2014), que não observaram efeito significativo da aplicação de M.O na condutância estomática da quinoa sob estresse hídrico. Assim, a menor condutância encontrada no presente estudo foi superior aos achados por eles com irrigação plena com um valor de 176 mmol m^{-2} s^{-1}.

A aplicação de matéria orgânica foi eficaz em atenuar o impacto do estresse hídrico e salino nas plantas de quinoa. De acordo com Benaffari et al., (2022), este tipo de estresse compromete o desempenho vegetal de várias maneiras, incluindo a abertura dos estômatos. Assim, aplicação de compostos orgânicos auxilia na absorção de água pelas plantas, mantendo seu estado de alta hidratação e nível de turgescência,

melhorando o funcionamento das atividades fisiológicas como a condutância estomática e a transpiração.

4.3. Produção de biomassa da quinoa

A quinoa é uma cultura tolerante aos estresses abióticos e sua adaptação a diferentes regiões deve-se à uma variedade de ecotipos cultivados em condições ambientais diversas (Ain et al., 2023b; Pihlanto et al., 2017). Em cenários onde a quinoa é cultivada, a adição de matéria orgânica pode emergir como uma estratégia crucial para mitigar o efeito do estresse hidrico e salino. Estudos como o de El Mouttaqi et al. (2023) destacam que essa adição resulta em melhorias no crescimento e desenvolvimento da cultura. A atuação conjunta dos estresses podem acarretar na redução da divisão celular e na diminuição do crescimento vegetal (Diacono; Montemurro, 2015).

De acordo com dados obtidos, houve aumento na produção de biomassa fresca e melhora no desenvolvimento em condições de estresse hidrico, com incremento de 80,36% na massa fresca da panicula das plantas sob o TR de 72 h e de 7,31% no caule em comparação ao tratamento sem adição de M.O., nas plantas submetidas ao TR de 48 h. Estes resultados são semelhantes a os de El Mouttaqi et al. (2023), que observaram valores médios e superiores de biomassa testando irrigação salina com correções orgânicas em relação ao tratamento controle. Sendo também similiares aos de Gill et al. (2020), que relataram um incremento na biomassa fresca da quinoa de 54 e 113%, respectivamente, com aplicação de 20 e 30 t ha^{-1} de aditivos orgânicos comparados ao controle.

Nesse sentido, de acordo com El Mouttaqi et al. (2023) a tolerância à salinidade em cultivos de quinoa pode ser potencializada pela aplicação de materia orgânica, proporcionando uma liberação mais gradual e sustentada de água e nutrientes essencias a o crescimento da planta. Por outro lado, a incorporação de matéria orgânica ao solo pode melhorar a estrutura do solo, aumentando a aeração e criando condições favoráveis para desenvolvimento radicular, consequentemente potencializando a produção de biomassa fresca. Comparando ao que foi relatado anteriormente, os resultados deste estudo são similares, pois a adição de uma dose de matéria orgânica no solo de 30 t ha^{-1} sob o TR de 120 h resultou em um aumento de 55,19% na massa fresca da panicula da quinoa em relação ao tratamento da dose zero. este desempenho se repete na massa fresca total com um incremento de 56,87%.

Nesse contexto, adubação orgânica testada em diferentes doses mostrou um efeito positivo na produção de massa seca da quinoa sob diferentes frequências de irrigação com água salina ($p<0,05$); com um incremento de 84,69% no caule, 36,80% na folha e 69,13% na panícula com uma dose de 30 t ha^{-1} sob o TR de 120 h. Esse efeito é devido a adição de M.O que indica um ambiente mais adequado de disponibilidade de água no solo, que é um pré-requisito para garantir o desenvolvimento da cultura (Yang et al., 2020b). Assim, nosso estudo indica que uma alteração orgânica no solo promoveu uma melhora na produção da biomassa seca da quinoa minimizando o dano da irrigação salina, diferindo de Hirich; Choukr-Allah; Jacobsen (2014) não encontrando efeito significativo para adição de matéria orgânica na produção de biomassa.

Resultado similar a Benaffari et al. (2022) que constatou uma redução dos danos do estresse hidrico na massa seca de plantas de quinoa em aproximadamente 5% utilizando compostos orgânicos. Esse resultado pode estar relacionado ao aumento da disponibilidade de nutrientes, decorrente da adição de matéria orgânica e pelo incremento da atividade microbiana no solo que desempenha o papel crucial na decomposição da M.O, consequentemente melhoar a fertilidade do solo, assim mitigando os efeitos negativos do acúmulo de sais no solo (Rekaby et al., 2023).

De acordo com Razzaghi et al., 2020; Abdrabou et al., 2022 e Rekaby et al., 2023, a aplicação de estresse hídrico e salino durante os estádios fenológicos de desenvolvimento da quinoa é prejudicial para a produção de massa seca. Assim, para o seu cultivo em condições de suprimento de água salina e limitada, a estratégia de adubação orgânica poderá melhorar as condições ambientais como a capacidade de retenção de água no solo e disponibilidade de nutrientes, podendo proporcionar melhores produções. Esse efeito da matéria orgânica é devido a melhorar nas propriedades do solo que consequentemente resulta no aumento da lixiação de sais no solo próximo da raiz da quinoa (Ding et al., 2020; El Mouttaqi et al., 2023).

4.4. Altura

Na comparação entre os tratamentos testados foi possivel verificar que a maior frequência de irrigação com água salina com doses menores de matéria orgânica proporcionam obtenção de maiores altura a quinoa, similar ao encontrado por Benaffari et al., (2022) que aplicando 5 e 10 t ha^{-1} de compostos orgânicos melhoraram as caracteristicas de crescimento da quinoa como a altura, podendo auxiliar na otimização da altura sob condições salinas. Este comportamento pode ser devido a maior disponibilidade de água em intervalos menores; assim uma irrigação plena sem proporcionar estresse obtem-se maiores alturas (Razzaghi et al., 2020); sendo semelhante ao observador por Silva et al., (2021). Além disso, com o auxilio da matéria orgânica pode minimizar o estresse hidrico e salino pela maior retenção de água disponibilizada no solo as plantas e liberando ácidos orgânicos que atuam na melhora da lixiviação de sais na zona radicular; pois segundo Silva et al., (2021) com o baixo potencial hídrico no solo há uma limitação na capacidade de absorve água e como estrategia de adaptação a planta reduz o seu crescimento.

Portanto essa resposta é similar ao encontrado por Akram; Libutti; Rivelli, 2023 e Derbali et al., 2023, que afirmaram que aditivos orgânicos no solo quando aplicados ajudaram as plantas a enfrentar o estresse hídrico e salino imposto, como resultado obtiveram os maiores valores de altura de planta. E difere da resposta encontra por Long (2016) que verificou uma redução da altura sob condições salinas. Além disso, de acordo com Derbali et al., (2023) a aplicação de corretivos orgânicos pode ser benéfico para aumentar a capacidade do solo em reter água e reduzir a concentração de sódio (Na) e cloro (Cl) disponíveis nas plantas em solos sob condições de estresse salino, isso pode resultar na melhorar do crescimento em altura das plantas como a quinoa.

4.5 Índice de área foliar

Os resultados encontrados demonstram que aplicação de matéria orgânica no solo pode reduzir o dano causado pelo estresse hídrico combinado com salino

proviniente da irrgação nas plantas de quinoa. Conforme a figura 6 o menor IAF encontrado esta no tratamento sem adição de M.O., com fornecimento de água a cada 120h (5 dias), sendo que o maior IAF obtido com aplicação de 30 t ha^{-1} de M.O., com o mesmo intervalo de irrigação. Assim, o estresse hídrico com salino pode reduzir o IAF, pois segundo Benaffari et al. (2022) o suprimento limitado de água causa uma diminuição significativa no crescimento da quinoa, podendo diminuir a área foliar. Esse resultado é similiar ao encontrado por Akram et al. (2023); Razzaghi et al. (2020) e Fghire et al. (2017).

Esse desempenho encontrado em nosso estudo revela a eficiência que tem o uso de matéria orgânica em conjunto com intervalos de irrigação no cultivo da quinoa, devido ao fato dos íons de sódio e cloro comumente encontrados em altas concentrações na água de irrigação podendo reduzir o crescimento da planta, afetando indicadores como o índice de área foliar, dessa forma a adição de M.O ao solo pode mitigar esse efeito atuando na maior disponibilidade de nutrientes, contribuindo para melhorar a retenção e infiltração de água no solo, auxiliando na regulação do balanço de íons pela planta (Rekaby et al., 2023; Miranda et al., 2021; Palansooriya et al., 2019). Devido ser uma planta halófita facultativa capaz de tolerar condições de alta salinidade chegando até 40 dS m^{-1} segundo (Adolf; Jacobsen; Shabala, 2013; Bosque Sanchez et al., 2003; Jacobsen; Mujica; Jensen, 2003) .

4.5. Índice de colheita

Com os dados obtidos foi constatado que o maior intervalo de irrigação reduziu o I.C nas plantas sob o TR de 72 e 120 h conforme a figura 9, resultando em menor produção. Diferindo de Kaoutar et al. (2017) que encontrou o maior I.C sob estresse hídrico moderado a severo. Portanto, o fornecimento de água em intervalos menores como o TR de 48 h mostra melhor rendimento com I.C de 37,89% (0,3789) relacionado a maior disponibilidade de água no solo; indicando um alta eficiência da planta na partição de matéria seca; pois segundo Maliro et al. (2017) o índice de colheita avalia a eficiência da planta para uso dos fotoassimilados e dividir a matéria seca, sendo que seu estudo encontrou altos redimentos da quinoa com o I.C variando de 0,3 a 0,5.

Apesar do desempenho menor das plantas de quinoa submetidas ao TR de 72 e 120 h, isso evidência o potencial da quinoa em adaptar-se as condições adversas de cultivo, pois é uma caracteristicas responsiva ao tempo de exposição ao estresse e as condições ambientais (Del Pozo et al., 2023). Além disso, Maliro et al., (2017) relata que é uma possibilidade de desenvolvimento da quinoa para altas produções de grãos e biomassa em diferentes sistemas de cultivo. No entanto, a redução dos I.C nos intervalos de irrigação mais espaçados pode ser associado a redução da quantidade de irrigações realizadas ao longo do cultivo, limitando o fornecimento de água, que de acordo com Benaffari et al., (2022) observaram que a restrição hidrica em determinadas fases fenologicas da planta pode reduz o desenvolvimento da quinoa, isso pode impactar o I.C que esta relacionado a produção de massa seca e a produtividade de grãos.

5. Conclusão

Os dados obtidos neste estudo, indicam que o uso de matéria orgânica em conjunto com intervalos prolongados de irrigação oferece beneficios significativos para

o cultivo da quinoa. A adoção da estratégia de irrigar a cada 3 ou 5 dias não prejudicou o desenvolvimento, crescimento ou a produção da planta. Essa abordagem adotada preservou o desenvolvimento da quinoa, e criou condições mais favoráveis para o cultivo, além de facilitar o processo de lixiviação dos sais, prevenindo a salinação do solo em profundidade. Portanto, a combinação de adubação orgânico com intervalos de irrigação de 72h (3 dias) ou 120h (5 dias), demonstrou ser uma estratégia produtiva eficaz principalmente ao impulsionar o crescimento e a produção da quinoa em regiões semiáridas, como as encontradas em Pernambuco, Brasil.

6. Referências

ABBAS, G. et al. Biochar increases salt tolerance and grain yield of quinoa on saline-sodic soil: multivariate comparison of physiological and oxidative stress attributes. **Journal of Soils and Sediments**, v. 22, n. 5, p. 1446–1459, 1 maio 2022.

ABDRABOU, M. R. et al. Response of saline irrigated quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) grown on coarse texture soils to organic manure. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 62, n. 2, p. 169–178, 24 jul. 2022.

ABRANTES, E. M. DE et al. Silicon Combined with *Trichoderma harzianum* and Organic Matter as an Environmental Friendly Strategy for Mitigating Salt Stress in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Sustainability 2024, Vol. 16, Page 2825**, v. 16, n. 7, p. 2825, 28 mar. 2024.

ADOLF, V. I.; JACOBSEN, S. E.; SHABALA, S. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 43–54, 1 ago. 2013.

AHMAD, P. et al. Silicon (Si) Supplementation Alleviates NaCl Toxicity in Mung Bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] Through the Modifications of Physio-biochemical Attributes and Key Antioxidant Enzymes. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, n. 1, p. 70–82, 15 mar. 2019.

AIN, Q. T. et al. Adaptive mechanisms in quinoa for coping in stressful environments: an update. **PeerJ**, v. 11, p. e14832, 2 mar. 2023a.

AIN, Q. T. et al. Adaptive mechanisms in quinoa for coping in stressful environments: an update. **PeerJ**, v. 11, p. e14832, 2 mar. 2023b.

AKRAM, M. Z.; LIBUTTI, A.; RIVELLI, A. R. Evaluation of Vegetative Development of Quinoa under Water Stress by Applying Different Organic Amendments. **Agronomy 2023, Vol. 13, Page 1412**, v. 13, n. 5, p. 1412, 19 maio 2023.

ALCÍVAR, M. et al. Reclamation of Saline–Sodic Soils with Combined Amendments: Impact on Quinoa Performance and Biological Soil Quality. **Sustainability 2018, Vol. 10, Page 3083**, v. 10, n. 9, p. 3083, 30 ago. 2018.

ALGOSAIBI, A. M. et al. The Effect of Irrigation Intervals on the Growth and Yield of Quinoa Crop and Its Components. **The Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 9, p. 182, 15 ago. 2017.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALY, A. A.; AL-BARAKAH, F. N.; EL-MAHROUKY, M. A. Salinity Stress Promote Drought Tolerance of *Chenopodium Quinoa* Willd. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 11, p. 1331–1343, 17 jun. 2018.

BELLO, S. K. et al. Mitigating soil salinity stress with gypsum and bio-organic amendments: A review. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1735, 1 set. 2021.

BENAFFARI, W. et al. The Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Vermicompost-Based Organic Amendments Enhance Soil Fertility, Growth Performance, and the Drought Stress Tolerance of Quinoa. **Plants**, v. 11, n. 3, p. 393, 1 fev. 2022.

BETTIOL, W. et al. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. **CEP**, v. 13918, p. 110, 2023.

BEYRAMI, H. et al. Effect of Irrigation Frequency on Yield and Yield Components of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) under Saline Condition. **Journal of Agricultural Science and Sustainable Production**, v. 30, n. 3, p. 347–357, 10 nov. 2020.

BOSQUE SANCHEZ, H. et al. Ecophysiological Analysis of Drought And Salinity Stress Of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). **Food Reviews International**, v. 19, n. 1–2, p. 111–119, 2003.

DA SILVA, P. C. et al. Quinoa for the brazilian cerrado: Agronomic characteristics of elite genotypes under different water regimes. **Plants**, v. 10, n. 8, p. 1591, 1 ago. 2021.

DE MESQUITA, E. F. et al. Effect of soil conditioners on the chemical attributes of a saline-sodic soil and on the initial growth of the castor bean plant. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, p. 2527–2538, 13 ago. 2015.

DEL POZO, A. et al. Traits associated with higher productivity and resilience to drought-prone Mediterranean environments of coastal-lowland quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Field Crops Research**, v. 299, p. 108985, 1 ago. 2023.

DERBALI, I. et al. Mitigating Salinity Stress in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with Biochar and Superabsorber Polymer Amendments. **Plants 2024, Vol. 13, Page 92**, v. 13, n. 1, p. 92, 27 dez. 2023.

DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Effectiveness of Organic Wastes as Fertilizers and Amendments in Salt-Affected Soils. **Agriculture 2015, Vol. 5, Pages 221-230**, v. 5, n. 2, p. 221–230, 24 abr. 2015.

DING, Z. et al. The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheat productivity. **Scientific Reports 2020 10:1**, v. 10, n. 1, p. 1–13, 17 fev. 2020.

EGEA, I. et al. Salt-tolerant alternative crops as sources of quality food to mitigate the negative impact of salinity on agricultural production. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1092885, 3 fev. 2023.

EL MOUTTAQI, A. et al. Agro-morphological and biochemical responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd. var: ICBA-Q5) to organic amendments under various salinity conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1143170, 8 maio 2023.

FGHIRE, Rachid et al. Physiological and growth response traits to water deficit as indicators of tolerance criteria between quinoa genotypes. **Journal of Materials and Environmental Sciences**, v. 8, n. 6, p. 2084-2093, 2017.

FLEXAS, J. et al. Photosynthetic limitations in Mediterranean plants: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 103, p. 12–23, 1 jul. 2014.

GARCIA, M.; RAES, D.; JACOBSEN, S. E. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. **Agricultural Water Management**, v. 60, n. 2, p. 119–134, 23 maio 2003a.

GARCIA, M.; RAES, D.; JACOBSEN, S. E. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. **Agricultural Water Management**, v. 60, n. 2, p. 119–134, 23 maio 2003b.

GARCÍA-PARRA, M. et al. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its relationship with agroclimatic characteristics: A Colombian perspective. **Chilean journal of agricultural research**, v. 80, n. 2, p. 290–302, 1 jun. 2020.

GHEYI, H. R. et al. Management and reclamation of salt-affected soils: general assessment and experiences in the Brazilian semiarid region<sup/>. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, p. e20217917, 17 out. 2022.

GILL, S. et al. Amending Soil Health to Improve Productivity of Alternate Crops in Marginal Sandy Soils of the UAE. p. 93–123, 2020.

GUPTA, M. et al. Use of a Bioaugmented Organic Soil Amendment in Combination with Gypsum for *Withania somnifera* Growth on Sodic Soil. **Pedosphere**, v. 26, n. 3, p. 299–309, 1 jun. 2016.

HAO, S. et al. A Review on Plant Responses to Salt Stress and Their Mechanisms of Salt Resistance. **Horticulturae 2021, Vol. 7, Page 132**, v. 7, n. 6, p. 132, 3 jun. 2021.

HE, K. et al. Biochar amendment ameliorates soil properties and promotes Miscanthus growth in a coastal saline-alkali soil. **Applied Soil Ecology**, v. 155, p. 103674, 1 nov. 2020.

HINOJOSA, L. et al. Quinoa Abiotic Stress Responses: A Review. **Plants 2018, Vol. 7, Page 106**, v. 7, n. 4, p. 106, 29 nov. 2018.

HIRICH, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; JACOBSEN, S. E. Deficit Irrigation and Organic Compost Improve Growth and Yield of Quinoa and Pea. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 200, n. 5, p. 390–398, 1 out. 2014.

HUALPA-RAMIREZ, E. et al. Stress salinity in plants: New strategies to cope with in the foreseeable scenario. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 208, p. 108507, 1 mar. 2024.

JACOBSEN, S. E.; MUJICA, A.; JENSEN, C. R. The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa*Willd.) to Adverse Abiotic Factors. **Food Reviews International**, v. 19, n. 1–2, p. 99–109, 2003.

JAIKISHUN, S. et al. Quinoa: In Perspective of Global Challenges. **Agronomy 2019, Vol. 9, Page 176**, v. 9, n. 4, p. 176, 5 abr. 2019.

KAOUTAR, F. et al. Yield and Dry Matter Simulation Using the Saltmed Model for Five Quinoa (*Chenopodium Quinoa*) Accessions Under Deficit Irrigation in South Morocco. **Irrigation and Drainage**, v. 66, n. 3, p. 340–350, 1 jul. 2017.

KHAITOV, B. et al. Adaptation, grain yield and nutritional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes in marginal environments of the Aral Sea basin. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 9, p. 1365–1379, 12 dez. 2020.

KHONDOKER, M. et al. Freshwater Shortage, Salinity Increase, and Global Food Production: A Need for Sustainable Irrigation Water Desalination—A Scoping Review. **Earth 2023, Vol. 4, Pages 223-240**, v. 4, n. 2, p. 223–240, 4 abr. 2023.

KILLI, D.; HAWORTH, M. Diffusive and Metabolic Constraints to Photosynthesis in Quinoa during Drought and Salt Stress. **Plants**, v. 6, n. 4, 2017.

LONG, Nguyen Viet. Effects of salinity stress on growth and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) at flower initiation stages. Vietnam J. Agric. Sci, v. 14, p. 321-327, 2016.

MALIRO, M. F. A. et al. Preliminary studies of the performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under irrigated and rainfed conditions of central Malawi. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 228168, 27 fev. 2017.

MIRANDA, M. F. A. et al. Phytodesalination and chemical and organic conditioners to recover the chemical properties of saline-sodic soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 1, p. 132–145, 1 jan. 2021.

MORANTE-CARBALLO, F. et al. What Do We Know about Water Scarcity in Semi-Arid Zones? A Global Analysis and Research Trends. **Water (Switzerland)**, v. 14, n. 17, p. 2685, 1 set. 2022.

MOUTTAQI, A. EL et al. How Does Organic Amendment Improve Quinoa Growth and Productivity under Saline Conditions? **Environmental Sciences Proceedings 2022, Vol. 16, Page 59**, v. 16, n. 1, p. 59, 17 jun. 2022.

NAVARRO-PEDREÑO, J.; ALMENDRO-CANDEL, M. B.; ZORPAS, A. A. The Increase of Soil Organic Matter Reduces Global Warming, Myth or Reality? **Sci 2021, Vol. 3, Page 18**, v. 3, n. 1, p. 18, 8 mar. 2021.

NIKALJE, G. C. et al. Halophytes in biosaline agriculture: Mechanism, utilization, and value addition. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 4, p. 1081–1095, 1 abr. 2018.

PALANSOORIYA, K. N. et al. Impacts of biochar application on upland agriculture: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 234, p. 52–64, 15 mar. 2019.

PIHLANTO, A. et al. Bioactivities of alternative protein sources and their potential health benefits. **Food & Function**, v. 8, n. 10, p. 3443–3458, 18 out. 2017.

RAZZAGHI, F. et al. Physiological characteristics and irrigation water productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to deficit irrigation imposed at different growing stages—A field study from Southern Iran. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 206, n. 3, p. 390–404, 1 jun. 2020.

REKABY, S. A. et al. Compost and Humic Acid Mitigate the Salinity Stress on Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd L.) and Improve Some Sandy Soil Properties. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 2, p. 2651–2661, 1 jun. 2023.

RICHARDS, Lorenzo Adolph. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. LWW, 1954.

SILVA, Alberto do Nascimento et al. Use of thermography to evaluate alternative crops for off-season in the cerrado region. **Plants**, v. 12, n. 11, p. 2081, 2023.

SINGH, A. Soil salinity: A global threat to sustainable development. **Soil Use and Management**, v. 38, n. 1, p. 39–67, 1 jan. 2022.

TELAHIGUE, D. et al. Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. **Journal of Scientific Agriculture**, v. 1, p. 222–232, 2017.

TOUBALI, S. et al. Root Reinforcement Improved Performance, Productivity, and Grain Bioactive Quality of Field-Droughted Quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 860484, 18 mar. 2022.

YANG, A. et al. Biochar Mitigates Combined Effects of Drought and Salinity Stress in Quinoa. **Agronomy 2020, Vol. 10, Page 912**, v. 10, n. 6, p. 912, 25 jun. 2020a.

YANG, A. et al. Biochar Mitigates Combined Effects of Drought and Salinity Stress in Quinoa. **Agronomy 2020, Vol. 10, Page 912**, v. 10, n. 6, p. 912, 25 jun. 2020b.

Capítulo 2 – Desenvolvimento da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) em função da adição de matéria orgânica e intervalos de irrigação salina no semiárido do Nordeste do Brasil

RESUMO

A expansão dos solos afetados por sais em regiões semiáridas, é consequência do uso prolongado de águas salinas e práticas inadequadas de manejo do solo que prejudicam os cultivos agrícolas. Portanto, é essencial investigar manejos que possibilitem o uso sustentável dessas águas como a aplicação de compostos orgânicos e os cultivos de plantas tolerantes. Assim, objetivou-se verificar o efeito da matéria orgânica e intervalos de irrigação com água salina no crescimento e estado nutricional da quinoa e a qualidade do solo no semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido em campo, cultivando plantas de quinoa submetidas a doses crescentes de matéria orgânica (esterco caprino) – 0, 15, 30 e 45 t ha^{-1} e três turno de rega de 24, 72 e 96 h com água salina (3,12 dS m^{-1}). Aos 65 dias foi avaliado a condutância estomática, índice de área foliar, realizado a medida de altura de plantas e as coletas para avaliação da biomassa fresca e seca, posteriormente determinado os elementos Na, K, Cl e P na planta. Sendo coletadas amostras de solo nas profundidades 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm submetidas as análises da condutividade elétrica (CE), pH, elementos solúveis Na, K e Cl, os cátions trocáveis Na e K e determinado o P disponível. A aplicação de M.O resultou no aumento da absorção de K como mecanismo de adaptação a elevação da CEes do solo e do Na solúvel e trocável, além disso, induziu a maior absorção de Cl^- pelas plantas como resposta a alta concentração na água de irrigação utilizada. Houve incremento na altura das plantas de 8,16% com a dose de 45 t ha^{-1} no TR de 24h, aumentando o índice de área foliar e auxiliando na manutenção da condutância estomática da quinoa. Portanto, a aplicação de M.O ao solo pode minimizar os efeitos negativos do estresse salino e hídrico, auxiliando no crescimento e na adaptação da quinoa e minimizando os efeitos nas propriedades químicas dos solos em regiões semiáridas.

Palavras chaves: Atributos do solo, turnos de rega, águas de má qualidade, manejo sustentável

CHAPTER 2 - Development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) due to the addition of organic matter and saline irrigation intervals in the semiarid region of Northeast Brazil

ABSTRACT

The expansion of soils affected by salts in semi-arid regions is a consequence of the prolonged use of saline waters and inadequate soil management practices that harm agricultural crops. Therefore, it is essential to investigate management that enables the sustainable use of these waters, such as the application of organic compounds and the cultivation of tolerant plants. Thus, the objective was to verify the effect of organic matter and irrigation intervals with saline water on the growth and nutritional status of quinoa and soil quality in the Brazilian semi-arid region. The experiment was conducted in the field, cultivating quinoa plants subjected to increasing doses of organic matter (goat manure) – 0, 15, 30 and 45 t ha^{-1} and three irrigation intervals (I.I) of 24, 72 and 96 h with saline water (3,12 dS m^{-1}). At 65 days, stomatal conductance and leaf area index were evaluated, plant height was measured and samples were taken to evaluate fresh and dry biomass, subsequently determining the elements Na, K, Cl and P in the plant. Soil samples were collected at depths 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm and subjected to analyzes of electrical conductivity (EC), pH, soluble elements Na, K and Cl, the exchangeable cations Na and K and determined the available P. The application of O.M resulted in an increase in the absorption of K as a mechanism of adaptation to the increase in soil ECes and soluble and exchangeable Na, in addition, it induced greater absorption of Cl^- by plants as a response to the high concentration in the irrigation water used. Providing an increase in plant height of 8,16% with a dose of 45 t ha^{-1} in the 24-hour I.I, increasing the leaf area index and helping to maintain the stomatal conductance of the quinoa. Therefore, the application of O.M to the soil can minimize the negative effects of saline and water stress, aiding the growth and adaptation of quinoa and minimizing the effects on the chemical properties of soils in semi-arid regions.

Key words: Soil attributes, irrigation intervals, poor quality water, sustainable management

1. Introdução

Com o crescimento contínuo da população mundial ao longo das décadas, estimativas indicam que será necessário um aumento entre 87% a 100% na produção mundial de alimentos até 2050 para suprir a necessidade emergente (Alkharabsheh et al., 2021). Esse aumento na produção acarretará a exploração mais intensiva dos solos, prejudicando suas propriedades químicas e físicas (Alkharabsheh et al., 2021; Ivushkin et al., 2019; Stavi; Thevs; Priori, 2021). Dessa forma, a longo prazo, o uso intensivo dos solos pode resultar em processos de salinização e sodificação, colocando em risco tanto a sustentabilidade ambiental quanto a produção agrícola (Ivushkin et al., 2019). Sendo, que o processo de salinização do solo ocorre principalmente em regiões áridas e semiáridas.

Além disso, fatores como escassez hídrica, restrições pluviométricas e elevada evapotranspiração intensificam a salinização do solo em várias regiões do globo (Alkharabsheh et al., 2021; Bagwasi; Agenbag; Swanepoel, 2020). O processo de salinização é caracterizado através do acúmulo de sais solúveis em água, como sódio, cloro e sulfato, e a sodicidade do solo é um indicativo ao excesso de sódio entre os cátions trocáveis na solução do solo (Stavi; Thevs; Priori, 2021). Porém, a salinização do solo pode ocorrer sob uma variedade de condições climáticas, denominada salinização primaria, essa condição natural resulta de processos de deposição de sais como a composição mineralógica do material de origem, a topografia e a qualidade do lençol freático, no entanto, a salinização secundaria é induzida pela ação antrópica, como a irrigação sem drenagem, o uso em excesso de fertilizantes e a utilização de águas de baixa qualidade, onde a baixa precipitação é insuficiente para remover os sais, afetando o desenvolvimento vegetal (Salcedo et al., 2022; Stavi; Thevs; Priori, 2021).

Essas condições ambientais adversas têm impactos negativos na produção e a qualidade dos cultivos agrícolas. Assim, a sensibilidade das plantas a salinidade varia durante o seu ciclo de vida, sendo a fase reprodutiva considerada mais sensíveis, devido a exposição à salinidade causar uma redução drástica tanto na quantidade quanto na qualidade dos grãos produzidos pelas culturas de cereais (Alkharabsheh et al., 2021; Egea et al., 2023; Powlson et al., 2014). Além disso, estresses abióticos como salinidade e seca, comuns em regiões semiáridas, tem efeitos negativos sobre o crescimento vegetal, principalmente desequilíbrio osmótico, diminuição do potencial hídrico, o que resulta em uma redução da absorção de água pelo sistema radicular, consequentemente, observa-se uma redução da taxa de germinação, na biomassa aérea, na expansão foliar, condutância estomática e na eficiência fotossintética (Alkharabsheh et al., 2021; Angon et al., 2022; Gamalero et al., 2020).

A salinização dos solos em zonas semiáridas é frequentemente associada ao uso de águas de baixa qualidade, recorrida como alternativa a escassez de água doce para uso na irrigação dos cultivos agrícolas (Feng et al., 2017). A presença elevada de sais de sódio e cloro na água de irrigação pode resultar em impactos negativos nas culturas, devido o acúmulo destes sais no solo interferir na capacidade de absorção de água das raízes (Hosseini; Bailey, 2022). Portanto, a utilização intensiva dessas águas somado a práticas inadequadas de manejo dos solos combinado com a falta de drenagem pode limitar a produção agrícola e promover a degradação dos solos (Silva et al., 2023). Nesse contexto, torna-se essencial buscar alternativas de manejo para mitigar os efeitos

da salinidade nas culturas agrícolas, além de atenuar os impactos nas propriedades do solo.

Nesse sentindo a aplicação de matéria orgânica é uma prática amplamente utilizada para a melhoria das condições de solos salinizados, como forma de melhorar o ambiente de cultivo e atenuar os impactos negativos dos sais advindos da irrigação sobre as propriedades do solo e no desenvolvimento vegetal (Babla et al., 2022). Assim, de acordo com Stavi; Thevs; Priori (2021), a aplicação de compostos orgânicos, como esterco no solo, contribui para elevar a concentração de carbono orgânico que favorece a estruturação do solo, melhorando a permeabilidade e, consequentemente, aumentando a capacidade de lixiviação de sais nas camadas superficiais do solo, diminuindo sua concentração.

Além disso, a presença de matéria orgânica do solo tem efeito benéfico para as culturas, contribuindo para a melhoria na qualidade e na saúde do solo (Lal, 2020a). Pois, segundo Babla et al., (2022); Ding et al., (2017); Lal (2020b) e Zhang; Wang; Feng, (2021) a incorporação de compostos orgânicos pode ser uma estratégia eficaz contra condições desfavoráveis na agricultura, entre os benefícios observados estão o aumento na produção de biomassa, a maior disponibilidade de nutrientes essenciais as plantas, o aumento da capacidade de troca catiônica, a diminuição do teor de sais no solo, além de melhoria nas propriedade físicas do solo como retenção de água no solo, infiltração e permeabilidade que são degradadas com o aumento da salinidade e sodicidade do solo.

A aplicação de matéria orgânica é uma estratégia eficaz como mitigadora dos efeitos prejudiciais da salinidade no solo, e quando combinada com o cultivo de plantas tolerantes a condições adversas, como a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) uma planta halófita, torna-se uma alternativa robusta e promissora para agricultura em regiões semiáridas (Abrantes et al., 2024; Hu et al., 2022). Estudos recentes indicam a grande capacidade que a quinoa possui para se desenvolver em solos salinos e sob condições hídricas limitadas (Abbas et al., 2021). Assim, destacando-se como uma cultura de grande potencial para ser adotada em diferentes localidades do mundo por sua notável adaptação a estresses abióticos e bióticos (Taaime et al., 2023).

Além disso, na busca por otimizar o uso da água no desenvolvimento das culturas como a quinoa em áreas salinas, é essencial adotar técnicas de irrigação eficientes. Assim, técnicas como a irrigação deficitária (Riccardi et al., 2014) são exploradas em regiões áridas e semiáridas. Portanto, investigar alternativas que melhorem o uso da água em condições hídricas limitadas é essencial (Algosaibi et al., 2017). Contudo, é uma questão fundamental entender como a quinoa responde a diferentes manejos de irrigação, incluindo o intervalo de rega (Beyrami et al., 2020). Estudos mostram que a quinoa mantem a produtividade em condições limitadas de água em regiões semiáridas não sofrendo reduções significativas como demonstrado nos estudos de Hirich; Choukr-Allah; Jacobsen (2014); Kaoutar et al., (2017) e Razzaghi et al., (2020). Portanto, a utilização de intervalos de irrigação longos surge como uma alternativa viável para o cultivo da quinoa em regiões semiáridas.

Nesse contexto, a combinação da aplicação de matéria orgânica e intervalos de irrigação ao cultivo de quinoa no semiárido é uma alternativa para mitigar os prejuízos

causado as propriedades químicas do solo. Além, de contribuir para aprimorar o estado nutricional da quinoa, para enfrentar os efeitos da salinidade ocasionado pelo o uso de água de baixa qualidade. Portanto, esse estudo teve como objetivo verificar como a aplicação da matéria orgânica e diferentes intervalos de irrigação com água salina influenciam no estado nutricional e nas características morfofisiológicas da quinoa, além de avaliar como essa estratégia de manejo afeta os atributos químicos do solo quanto a salinidade e sodicidade no cultivo de quinoa no semiárido do nordeste do Brasil.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido em campo em uma área de 800 m^2 (20 x 40m), implantado em um Neossolo Flúvico, situado na área experimental da Estação de Agricultura Irrigada de Parnamirim da Universidade Federal Rural de Pernambuco localizado no município de Parnamirim-PE, Brasil (Figura 1). A área está situada em região semiárida segundo a classificação de Köppen, tem clima do tipo BSwh' sendo denominado semiárido quente e seco, com chuvas de verão, iniciando em dezembro com término em abril (Alvares et al., 2013).

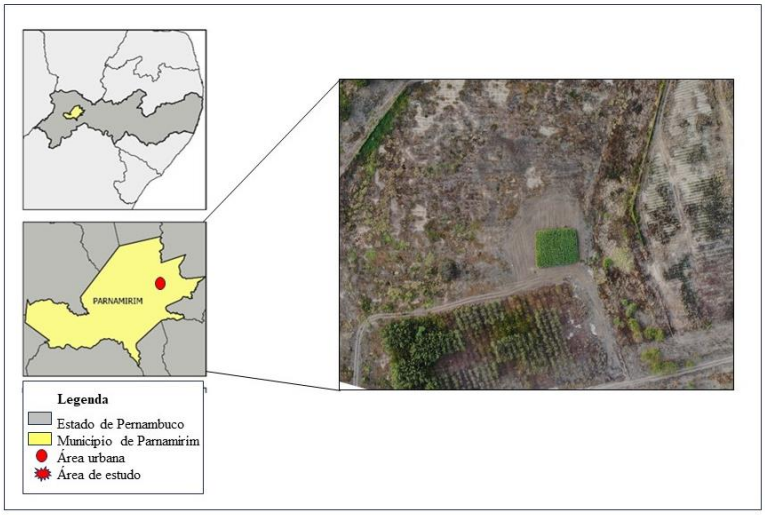

Figura 3. Localização da área experimental situada no município de Parnamirim-PE

2.2.Design e tratamentos experimentais

No experimento foram cultivadas plantas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) submetidas a doses crescentes de matéria orgânica e diferentes turnos de rega. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial (4 x 3), sendo quatro doses de matéria orgânica (esterco caprino) – 0, 15, 30 e 45 t ha^{-1} (Tabela 2) e três turnos de rega de 24, 72 e 96 h, com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais. As plantas de quinoa foram irrigadas com água salina classificada como de alta salinidade e baixa sodicidade (C4S1) (Tabela 1), de acordo com a classificação de Richards (1954).

Tabela 3. Atributos químicos da água utilizada na irrigação do experimento

pH	CE	Dureza-$CaCO_3$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	RAS	HCO_3^{-}
	(mS cm^{-1})	(mg L^{-1})	($mmol_c$ L^{-1})					
7,23	3,12	926,5	9,28	9,23	11,73	26,38	3,85	5,70

RAS = Razão de adsorção de sódio, CE = Condutividade elétrica

Tabela 4. Atributos químicos da matéria orgânica (esterco caprino) utilizado nos tratamentos do experimento

pH	P	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	CTC	N	C.O	C/N	CE
	(mg L^{-1})	($mmol_c$ L^{-1})				($mmol_c$ dm^{-3})	(g kg^{-1})			(mS cm^{-1})
7,79	5,71	3,83	4,26	13,06	1,12	338,7	15,8	138,5	8,8	2,45

CTC = Capacidade de troca de cátions, C.O = Carbono orgânico, CE = Condutividade elétrica, C/N = Relação carbono/nitrogênio

2.3.Procedimentos de condução experimental

Antes do preparo do solo foi efetuada uma coleta de amostras de solo na área do experimental, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, para fins de caracterização físico-química do solo (Tabela 3). A área foi limpa mecanicamente e submetida a uma gradagem para preparar o solo. Em seguida, as doses de matéria orgânica foram aplicadas e incorporadas ao solo manualmente com auxílio de enxada. A semeadura foi realizada diretamente sobre o solo, utilizando a cultivar BRS Piabiru com espaçamento adotado de 40 x 40 cm, o que representou uma densidade de 120.000 plantas ha^{-1}, colocando-se de 5 a 10 sementes por cova, na profundidade de 1 a 2 cm. O desbaste foi realizado aproximadamente 10 dias após a emergência, deixando-se duas plantas por cova. As parcelas foram compostas por 4 fileiras de 2 m de comprimento cada, sendo as duas linhas centrais a área útil. Apenas as plantas da área útil foram usadas para avaliações.

Para não haver interferência na efetividade da adubação orgânica, não se realizou adubação química. A irrigação foi realizada via gotejamento, com três turnos de rega de 24, 72 e 96 h aplicando-se uma lâmina de irrigação equivalente a 100% da ETc para cada fase fenológica utilizando o Kc da cultura de acordo com Garcia; Raes; Jacobsen (2003b). A irrigação foi suspensa aos 95 dias após a emergência das plantas, para facilitar a maturidade fisiológica das sementes, e a colheita das sementes realizada aproximadamente 125 dias após a semeadura, para avaliação da produtividade da quinoa.

Tabela 3. Atributos físico-químicos do solo nas camadas superficiais e subsuperficiais (0-60 cm) da área experimental da quinoa na Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST

Atributos		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-40	40-60
		Químicos			
pH		6,47	6,60	6,58	5,76
P	(mg dm^{-3})	127,50	104,40	81,20	65,10
Ca^{2+}		12,30	12,97	14,67	17,54
Mg^{2+}		6,75	6,67	7,57	8,02
K^{+}		1,04	0,52	0,29	0,16
Na^{+}	($cmol_c$ dm^{-3})	0,01	0,50	0,72	0,97
Al^{3+}		0,00	0,00	0,00	0,19
H+Al		0,64	0,75	0,53	0,52
S		20,10	20,66	23,24	26,70
T		20,75	21,41	23,77	27,22
PST	(%)	0,048	2,34	3,03	3,56
CE	(dS m^{-1})	1,00	0,88	0,97	2,23
		Físicos			
Ds	(g cm^{-3})	1,13	1,18	1,27	1,40
Dp		2,5	2,44	2,27	2,36
Areia		17,0	20,0	18,0	17,0
Argila	(%)	22,0	29,0	27,0	18,0
Silte		60,0	51,0	55,0	65,0

S = Soma de bases; T = Capacidade de troca de cátions; CE = condutividade elétrica; Ds = densidade do solo; Dp = densidade da partícula

Para determinação da lâmina de água aplicada durante o experimento, utilizaram-se dados climáticos obtidos por meio da estação de meteorológica automática do INMET, situada no município de Salgueiro-PE. Assim, a lâmina total de água aplicada foi de 195,88 mm, somando-se a isso o volume acumulado da chuva (precipitação) que foi de 20,3 mm durante os meses de outubro a dezembro, período de realização do experimento (Figura 2).

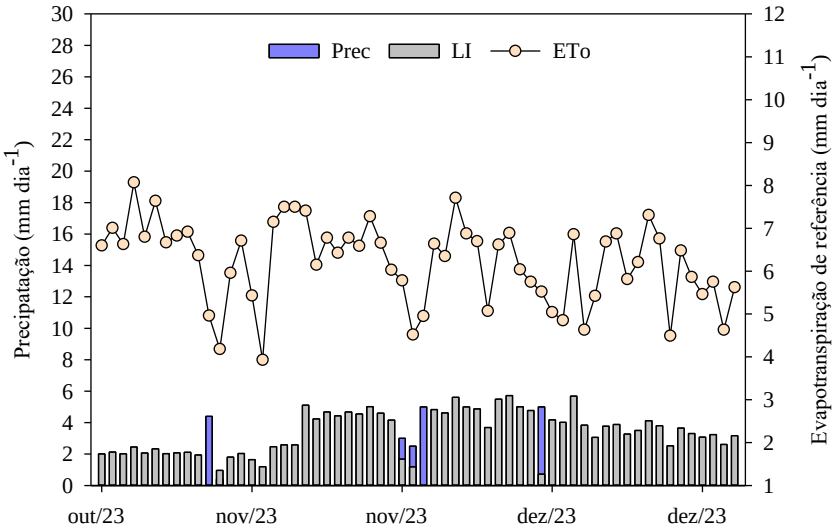

Figura 4. Condições meteorológicas no município de Parnamirim-PE no período de realização do experimento. (Prec) Precipitação e (ETo) evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e a (LI) lâmina de irrigação aplicada (mm dia^{-1}).

2.4.Avaliações morfofisiológicas

As plantas de quinoa foram avaliadas aos 65 dias após a germinação investigando as respostas das trocas gasosas sobre as condições salinas e estresse hídrico, em relação à condutância estomática (gs), por meio de um Porômetro (modelo SC-1, METER Group, EUA). Após as medidas de trocas gasosas, procedeu-se à avaliação do índice de área foliar (IAF) utilizando o AccuPAR (Ceptômetro LP-80, METER Group, EUA). Aos 65 dias do ciclo da quinoa, mediu-se a altura de plantas e em seguida, foi feita a coleta para avaliação da biomassa fresca cortando-as aproximadamente 3 cm acima do solo e separando em caule, folha e panícula. Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa de circulação de ar por 72 h a 65°C para obtenção da biomassa seca.

2.5.Avaliações dos atributos químicos do solo

Ao final do ciclo da quinoa, realizou-se coletas de amostras de solo em diferentes profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. Essas amostras foram submetidas a um tratamento inicial, sendo secadas ao ar e peneiradas através de uma malha com abertura de 2 mm. Após esse processo, as amostras foram analisadas quimicamente para avaliar o complexo de saturação e do complexo sortivo.

2.6.Complexo de saturação

As amostras de solo foram submetidas às análises dos elementos solúveis, utilizando-se o método de preparação de pasta de saturação conforme descrito por Richards (1954). Dessa forma, 300 g de solo foram pesados e misturados com água destilada até o atingir ponto de saturação, permanecendo em descanso por um período de 24h. Após esse tempo, procedeu-se à extração por vácuo, em seguida medida à

condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (CE a 25°C). Em seguida, determinando-se as concentrações dos cátions solúveis: Na^+ e K^+ por fotometria de emissão de chama (Micronal, modelo B462) e o ânion: Cl^- por titulação com solução de $AgNO_3$ e K_2CrO_4 como solução indicadora (USSL 1954).

2.7. Complexo sortivo

A avaliação do pH do solo foi realizado através da medição em água com uma suspensão de 10g de solo para 25 mL de água destilada (1:2,5) utilizando potenciômetro (Digimed, modelo DM-23-DC). Para a extração dos cátions trocáveis Na^+ e K^+, utilizou-se uma solução de acetato de amônio 1 mol L^{-1}, e as concentrações foram determinadas por fotometria de emissão de chama (Micronal, modelo B462) (USSL, 1954). A porcentagem de sódio trocável (PST) foi calculada utilizando a razão entre Na^+ dividida pela capacidade de troca de cátions do solo (CTC), conforme a equação 1 (USSL, 1954). Além disso, os teores de P disponível foram determinados utilizando uma solução extratora de bicarbonato de sódio 0,5 mol L^{-1} a pH 8,5, e a quantificação foi feita por colorimetria com o uso de espectrofotômetro – UV (Biochrom, modelo Libra S80) segundo (Olsen e Sommers, 1982).

$$\text{PST}\ (\%) = \frac{\text{Na}^+}{\text{CTC}}\ \text{x}\ 100 \qquad \text{(Eq. 1)}$$

2.8.Avaliações nutricionais na planta

Após a secagem em estufa para obtenção da biomassa seca das plantas nas frações caule, folha e panículas, esses tecidos foram moídos em um moinho de facas de aço inoxidável do tipo Wiley para reduzir as amostras a um pó fino para análise dos elementos Na, K e P. Em seguida, 500 mg da matéria seca em pó foram adicionadas em tubos de ensaio com tampas rosqueadas, aos quais adicionou-se 25 mL de HCl 1 mol L^{-1}. Esses tudos foram aquecidos por 15 minutos em banho maria a 80 °C e, posteriormente, agitados por 15 minutos a 250 rpm em um agitador horizontal circular. Após, o extrato ter atingindo a temperatura ambiente, realizou-se à sua filtragem. Os teores de Na e K foram determinados por fotometria de emissão de chama, enquanto P foi medido por colorimetria, utilizando espectrofotômetro – UV conforme metodologia da Embrapa (2017).

Para a determinação de cloreto (Cl), foram transferidos 100 mg de matéria seca para tubos de ensaio com tampas rosqueados contendo 25 mL de água ultra pura, submetidos a aquecimento em banho maria a 100 °C. Após os tubos atingirem à temperatura ambiente, procedeu-se a filtragem do conteúdo. Em seguida, foram coletados 10 mL do extrato para a realização da titulação com nitrato de prata ($AgNO_3$), empregando cromato de potássio (K_2CrO_4 5%) como indicador, conforme o método descrito por Ferreira-Silva et al., 2008.

2.9.Tratamentos dos dados e análise estatística

Os dados obtidos foram testados quanto à normalidade e homoscedasticidade utilizando o teste de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Posteriormente, os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas adotando o seguinte critério: o conjunto fator dose de matéria orgânica x turno de rega e

suas 4 repetições sendo considerado um tratamento, assim comparando-se todos os 12 tratamentos entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade utilizando-se o software Rstudio (R Core Team, 2019). Os gráficos foram elaborados utilizando o software SigmaPlot v. 11.0 (Systat Software Inc., San Jose, California, USA).

3. Resultados

3.1.Propriedades químicas do solo – Fase solúvel

A análise dos atributos químicos do solo, especificamente no complexo de saturação, revelou um efeito significativo da adição de matéria orgânica em diferentes doses no solo, especialmente combinado com os turnos de rega usando água salina ($p < 0,05$). Observou-se que a condutividade elétrica (CE) na camada de 0-10 cm do solo aumentou devido ao acúmulo de sais conforme a tabela 4, especialmente no TR 24 h, com exceção da dose de 45 t ha^{-1} que registrou uma CE de 5,03 dS m^{-1}. No TR de 96 h a CE reduziu para 3,90 dS m^{-1} indicando uma redução em relação a dose 0 do TR de 24 e 72 h. Por outro lado, analisando a tabela 4 mostra que a aplicação da dose 0 e 30 t ha^{-1} com os TR de 24 e 72 h resultou nos menores teores de sódio de 59,68 e 57,47 $mmol_c L^{-1}$ respectivamente. Além disso, a dose de 45 t ha^{-1} se mostrou a mais eficiente em reduzir a concentração de cloro, resultando no menor acúmulo com 46,58 $mmol_c L^{-1}$, sendo semelhante à dose zero com 62,42 $mmol_c L^{-1}$ no TR de 96 h na camada de 0-10 cm do solo. Quanto, aos teores de potássio solúvel, os maiores teores foram observados na dose sem aplicação de M.O com 1,70 $mmol_c L^{-1}$ no TR 24h. A dose de 45 t ha^{-1} por outro lado, resultou nos menores teores de potássio na solução do solo com 0,29 $mmol_c L^{-1}$ no TR 24h, 0,74 $mmol_c L^{-1}$ no TR 72h e 0,65 $mmol_c L^{-1}$ no TR 96h.

Na profundidade de 10-20 cm os tratamentos aplicados apresentaram efeito significativo ($p<0,05$) nas propriedades químicas do solo. Assim, os diferentes turnos influenciaram a CE, aumentando-a como indicado na tabela 4, com o TR de 24h apresentando os maiores valores de CE, no entanto, o TR de 72h apresenta as menores CE em comparação ao TR 96h que a única dose de M.O que proporcionou uma redução foi de 45 t ha^{-1} com 3,94 dS m^{-1}. Além disso, os menores teores de sódio e cloro solúvel foram encontrados no TR 72h com 49,37 $mmol_c L^{-1}$ para sódio e 48,25 $mmol_c L^{-1}$ para cloro, ambos na dose de 30 e 45 t ha^{-1}, respectivamente (tabela 4). Em contraste, houve uma redução significativa dos teores de potássio (K) em comparação a camada de 0-10 cm, encontrado nos TR 24h e 96h com valores de 0,26 $mmol_c L^{-1}$ e 0,19 $mmol_c L^{-1}$ respectivos na dose de 45 t ha^{-1}, comparado com dose 0 obteve o maior valor de K com 1,02 $mmol_c L^{-1}$.

A análise da tabela 4 indica que na camada 20-40 cm há um efeito significativo da interação entre os tratamentos testados ($p<0,05$) em relação a CE e sódio. Nesse sentido, a adição de matéria orgânica ao solo reduziu a condutividade elétrica com o TR 72 h com valor de 2,03 dS m^{-1} na dose de 45 t ha^{-1}. A menor CE foi observada na dose sem adição de M.O, com 1,59 dS m^{-1} no TR 72 h, esse comportamento se repete no teor de sódio onde encontramos o menor valor de 27,08 $mmol_c L^{-1}$. Por outro lado, encontramos no TR 96 h valores altos para os teores de sódio como os 78,12 $mmol_c L^{-1}$ na dose 15 t ha^{-1}. Apesar de os teores de cloro e potássio não mostrarem efeito significativos em resposta aos tratamentos testados ($p<0,05$), assim uma comparação entre as camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm relevou uma redução dos teores desses elementos.

Tabela 4. Propriedades químicas do complexo de saturação do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm sob o cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) com aplicação de doses crescentes de matéria orgânica e diferentes intervalos de irrigação com água salina.

DOSE t ha^{-1}	CE (dS m^{-1})			K (mmol$_c$ L^{-1})			Na (mmol$_c$ L^{-1})			Cl (mmol$_c$ L^{-1})		
	TR			TR			TR			TR		
	24h	72h	96h	24h	72h	96h	24h	72h	96h	24h	72h	96h
						0-10						
0	14,16a	8,45b	4,65c	1,70a	1,14a	1,41a	59,68c	74,39c	69,97c	127,42a	88,25b	62,42b
15	12,01a	8,68b	7,17b	1,28a	0,74b	0,88b	119,25a	118,52a	61,88c	149,92a	72,42b	82,42b
30	12,54a	4,96c	10,91a	1,62a	0,86b	1,74a	64,09c	57,47c	90,57b	96,58b	66,58b	114,92a
45	5,03c	4,23c	3,90c	0,29b	0,74b	0,65b	61,88c	72,18c	62,62c	56,58b	58,25b	46,58b
						10-20						
0	7,12a	4,46b	6,85a	0,47c	0,21d	1,02a	51,49c	65,63c	61,39c	60,75c	74,92b	81,58b
15	8,44a	5,92a	6,17a	0,34d	0,71b	0,48c	111,57a	108,04a	53,61c	124,08a	61,58c	68,25b
30	6,09a	4,22b	6,57a	0,57c	0,35d	0,52c	55,74c	49,37c	81,18c	69,08b	64,92b	54,08c
45	7,71a	4,55b	3,94b	0,26d	0,55c	0,19d	53,61c	63,51c	54,32c	78,25b	48,25c	50,75c
						20-40						
0	3,48b	1,59b	2,88b	0,25	0,25	0,22	81,76a	27,08b	72,29a	36,58	28,25	33,25
15	5,07a	2,80b	3,30b	0,22	0,31	0,24	52,60b	40,21b	78,12a	52,42	41,58	47,42
30	2,30b	3,38b	2,96b	0,19	0,37	0,19	44,58b	35,83b	67,18a	50,75	42,42	33,25
45	3,75b	2,03b	2,27b	0,29	0,15	0,30	56,97a	31,46b	43,85b	52,42	36,58	44,92
						40-60						
0	3,57b	1,77b	4,07b	0,21	0,14	0,17	39,74b	35,36b	60,18a	41,58c	28,25c	68,25b
15	7,21a	3,05b	4,13b	0,26	0,12	0,07	76,25a	34,63b	36,82b	99,08a	41,58c	50,75c
30	3,19b	3,37b	5,19a	0,07	0,15	0,21	41,93b	61,64a	68,95a	34,92c	44,08c	52,42c
45	3,22b	2,01b	4,24b	0,20	0,21	0,25	54,34a	37,55b	69,68a	49,08c	31,58c	55,75c

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os turnos de rega dentro de cada dose de matéria orgânica.

No extrato de saturação na camada de 40-60 cm, observa-se um efeito significativo da interação entre os tratamentos nas variáveis de condutividade elétrica (CE), sódio (Na) e cloro (Cl). Análise da tabela 4 revela que a CE do solo aumenta em comparação com a camada de 20-40 cm, com o menor valor de 1,77 dS m^{-1} no TR de 72h sem adição de matéria orgânica ao solo (dose 0). Assim, esse comportamento é semelhante para sódio com 35,36 $mmol_c$ L^{-1} e para cloro com 28,25 $mmol_c$ L^{-1} que é o menor teor. Observou-se que, aplicação ao solo da dose de 15 t ha^{-1} a CE atingiu 7,21 dS m^{-1} no TR de 24h levando a um aumento para sódio com 76,25 $mmol_c$ L^{-1} e 99,08 $mmol_c$ L^{-1} para cloro; em contraste com a dose de 45 t ha^{-1} resultou em uma diminuição da CE com 3,22 dS m^{-1} e uma redução correspondente para Na com 54,34 $mmol_c$ L^{-1} e Cl com 49,08 $mmol_c$ L^{-1}. Por outo lado, o TR de 72h os teores de sódio e cloro foram mais baixos em comparação ao TR 96h refletindo na condutividade elétrica do solo, no entanto, os tratamentos testados não apresentaram um efeito significativo sobre os teores de potássio (p<0,05).

3.2.Propriedades químicas do solo – Completo sortivo

Na camada de 0-10 cm, observa-se que as propriedades químicas do solo são significativamente influenciadas pela interação dos tratamentos, em relação ao pH, potássio (K^+) e fósforo (P). Com a redução da dose de M.O e o aumento do turno de rega, notou-se um aumento no pH do solo chegando a 9,28 na dose de 15 t ha^{-1} no TR 72h, acompanhado do teor de K^+ de 1,10 $cmol_c$ kg^{-1} e 58,71 mg kg^{-1} de P. Esse comportamento é similar na dose de 45 t ha^{-1} com pH de 8,30, um teor de K^+ de 0,83 $cmol_c$ kg^{-1} e 118,42 mg kg^{-1} de P que sugere uma maior disponibilidade no solo. Além disso, no TR de 96h o pH mais baixo com valor de 7,06, mas com alta concentração de K^+ com 1,33 $cmol_c$ kg^{-1} e 58,39 mg kg^{-1} de P que estaria abaixo do ideal no solo. Por outro lado, o teor de sódio e porcentagem de sódio trocável não apresentaram uma diferença significativa (p<0,05), mas ressaltando que os teores sódio estão relativamente altos.

Para a camada de 10-20 cm os tratamentos aplicados mostram um efeito significativo no complexo sortivo (p<0,05), exceto para o teor de fósforo (P). A análise a tabela 5 indica que aplicação da matéria orgânica na dose de 45 t ha^{-1} resultou na redução do pH do solo para 6,67, com uma concentração de K^+ de 0,55 $cmol_c$ kg^{-1}e de Na^+ de 4,66 $cmol_c$ kg^{-1} levando a uma PST de 21,75% no TR 24h. Em comparação, no TR de 72h a dose sem adição de M.O, provocou um aumento do pH para 8,29, elevou a concentração de K^+ para 0,77 $cmol_c$ kg^{-1} e reduziu a de Na^+ para 4,39 $cmol_c$ kg^{-1}, resultando em uma PST de 20,51%. Entretanto, com análise da tabela 2 os teores de fósforo (P) no solo não mostra uma diferença significativa (p<0,05), mas indicando uma grande redução.

Tabela 5. Propriedades químicas do solo no complexo sortivo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm sob o cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) com aplicação de doses crescentes de matéria orgânica e diferentes intervalos de irrigação com água salina.

DOSE t ha^{-1}	pH			K (cmol$_c$ kg^{-1})			Na (cmol$_c$ kg^{-1})			P (mg kg^{-1})			PST (%)		
	TR			TR			TR			TR			TR		
	24h	72h	96h	24h	72h	96h	24h	72h	96h	24h	72h	96h	24h	72h	96h
							0-10								
0	7,83c	7,32c	7,45c	1,60a	1,00c	0,79c	2,97	2,89	1,76	28,25b	38,21b	31,20b	14,32	13,91	8,49
15	8,13b	9,28a	7,70c	1,00c	1,10b	0,69c	2,18	2,21	2,52	57,30b	58,71b	44,57b	10,53	10,66	12,15
30	7,48c	7,19c	7,06c	1,15b	0,84c	1,33b	1,76	1,82	1,85	55,56b	58,39b	58,39b	8,49	8,76	8,90
45	8,30b	7,57c	7,92c	0,83c	0,76c	1,15b	2,32	2,49	2,47	118,42a	99,33a	108,45a	11,20	12,02	11,88
							10-20								
0	7,01b	8,08a	7,63a	1,47a	0,64b	0,74b	7,80a	4,45b	7,09a	25,80	26,18	19,44	36,42a	20,79b	33,13a
15	8,05a	7,97a	7,69a	0,67b	0,67b	1,20a	6,01a	5,16b	5,92a	35,50	43,40	28,56	28,06a	24,08b	27,65a
30	7,68a	7,92a	8,16a	1,04a	0,79b	0,62b	6,65a	5,04b	5,10b	26,18	30,87	30,87	31,07a	23,53b	23,81b
45	6,67b	8,29a	8,14a	0,55b	0,77b	0,92b	4,66b	4,39b	6,77a	44,05	37,49	37,17	21,75b	20,51b	31,62a
							20-40								
0	7,77b	8,13b	7,72b	1,01a	0,45b	1,09a	4,13b	4,60b	7,97a	14,55b	12,75b	13,65b	17,37b	19,34b	33,53a
15	8,69a	7,89b	8,87a	0,72b	1,30a	0,59b	7,21a	9,08a	6,86b	16,09b	12,88b	17,95a	30,34a	38,21a	28,85b
30	8,06b	8,06b	8,03b	1,13a	0,57b	0,50b	8,91a	5,92b	6,27b	21,94a	18,53a	13,78b	37,47a	24,90b	26,38b
45	7,53b	8,06b	8,36a	1,01a	0,81b	0,53b	8,50a	7,97a	6,57b	12,24b	23,67a	14,84b	35,75a	33,53a	27,62b
							40-60								
0	7,55	9,19	7,92	1,01a	0,96a	0,76b	5,24b	6,16a	5,82a	19,19a	15,85b	15,23b	19,26b	22,64a	21,37a
15	7,42	7,76	8,38	0,60b	1,17a	0,86a	4,00b	6,74a	7,40a	23,89a	14,42b	16,78b	14,70b	24,76a	27,20a
30	7,40	7,73	7,68	0,62b	0,57b	0,58b	5,88a	4,58b	4,49b	15,48b	22,97a	14,30b	21,58a	16,82b	16,50b
45	8,37	8,00	7,99	0,96a	1,05a	0,98a	4,72b	5,59a	6,83a	16,16b	14,36b	19,87a	17,35b	20,53a	25,08a

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os turnos de rega dentro de cada dose de matéria orgânica.

Na camada de 20-40 cm nota-se um efeito significativo da interação da aplicação das doses de matéria orgânica e os turnos de rega (p<0,05). Especificamente, a dose de 15 t ha^{-1} elevou o pH do solo para 8,87, o valor mais alto observado. Além disso, essa mesma dose resultou em concentrações de K^+ 0,59 $cmol_c$ kg^{-1} e Na^+ de 6,86 $cmol_c$ kg^{-1}, bem como de 17,95 mg kg^{-1} de P, contribuindo para uma PST de 28,85% no TR de 96 h. No entanto, a aplicação de M.O ao solo na dose de 45 t ha^{-1} no TR de 24h, resultou em um pH de 7,53, o menor encontrado nessa camada quando comparado com os demais turnos de rega. Esta condição foi caracterizada por concentrações de K^+ de 1,01 $cmol_c$ kg^{-1}e de Na^+ de 8,50 $cmol_c$ kg^{-1}, além do teor de P com 12,24 mg kg^{-1} e uma PST de 35,75%. Por outro lado, para as outas variáveis o efeito indicado na tabela 2 foi de aumento do pH do solo, no acúmulo de Na^+, uma diminuição dos teores de P e uma elevação da PST.

Em contrapartida, a aplicação dos tratamentos testados indica um efeito significativo da interação para a camada de 40-60 cm, com exceção do pH do solo (p<0,05). Nesse sentindo, as concentrações de K^+ aumentaram com a adição de matéria orgânica, exemplificando pela dose de 15 t ha^{-1} com 1,17 $cmol_c$ kg^{-1} no TR de 72 h, esse resultado foi semelhante ao do Na^+ que atingiu 6,74 $cmol_c$ kg^{-1} refletindo em uma PST de 24,76%. No entanto, o P esteve presente nos menores teores com 14,42 mg kg^{-1}. Além disso, a menor concentração de K^+ foi observada no solo sob dose de 30 t ha^{-1} no TR 96h com 0,58 $cmol_c$ kg^{-1}, valor similar ao do sódio com 4,49 $cmol_c$ kg-1 e uma PST de 16,50% e para P com 14,30 mg kg^{-1}, sendo este o menor teor. A aplicação de 45 t ha^{-1} no solo sob o TR 24 h levou ao teor de 0,96 $cmol_c$ kg^{-1} para K^+ sendo um dos maiores teores encontrado, além disso para a concentração de sódio foi reduzida para 4,72 $cmol_c$ kg^{-1} levando a uma PST de 17,35%, e para P teor foi de 16,16 mg kg^{-1}. Entretanto, aplicação do composto orgânico com os turnos de rega não apresentaram um efeito significativo para o pH do solo (p<0,05).

3.3.Íons no material vegetal

Ao examinar a Tabela 6, há um efeito significativo da interação dos tratamentos para os íons no material vegetal das plantas de quinoa no caule (p<0,05). Assim, sugerindo um aumento da extração de potássio para o caule, sendo as maiores concentrações encontradas na dose 0 e 30 t ha^{-1} no TR 72h com um teor de 34,91 e 34,24 g kg^{-1} respectivos e a dose 15 t ha^{-1} no TR de 96 h com um teor de 28,23 g kg^{-1}, obtiveram os maiores valores de K. Por outro lado, a extração de sódio pelas plantas de quinoa mostrou-se baixa, seguido um comportamento similar ao do potássio. O maior teor de Na extraído está na dose 0 no TR de 96 h alcançando 6,70 g kg^{-1}, no entanto, a adição de compostos orgânicos ao solo contribuiu para um aumento na acumulação deste elemento no tecido vegetal. Assim, no TR de 96 h na dose de 45 t ha^{-1} o acúmulo de 5,66 g kg^{-1}, enquanto que na dose de 30 t ha^{-1} foi de 5,32 g kg^{-1} e para o TR de 72 h com 5,53 g kg^{-1}, um desempenho semelhante a dose 0 conforme indicado na tabela 6. Contudo, para o TR de 24 h, o acúmulo foi inferior ao demais.

Tabela 6. Teores de elementos nos tecidos vegetais do caule, folha e panículas de plantas de quinoa submetidas a aplicação de diferentes doses crescentes de matéria orgânicas e diferentes intervalos de irrigação com água salina.

DOSE (t ha^{-1})	K (g kg^{-1})			Na (g kg^{-1})			Cl (g kg^{-1})			P (g kg^{-1})		
	TR			TR			TR			TR		
	24h	72h	96h	24h	72h	96h	24h	72h	96h	24h	72h	96h
CAULE												
0	18,88b	34,91a	20,89b	3,25b	3,87b	6,70a	53,33a	51,67a	37,50b	2,68b	6,07a	2,61b
15	24,89b	22,22b	28,23a	4,56b	3,53b	4,42b	39,17b	47,50b	55,83a	2,73b	2,80b	3,07b
30	23,56b	34,24a	26,23b	4,22b	5,53a	5,32a	45,00b	56,67a	41,67b	2,25b	3,45b	3,90b
45	20,22b	15,55b	20,89b	3,94b	4,15b	5,66a	58,33a	42,50b	46,67b	2,68b	2,70b	2,46b
FOLHA												
0	75,63a	70,96a	59,61b	3,60	2,08	2,15	128,33a	138,33a	119,17a	0,90b	1,05a	0,85b
15	68,29a	70,96a	50,26b	2,57	2,15	2,64	128,33a	137,50a	104,17b	0,89b	1,15a	1,05a
30	54,27b	66,95a	81,64a	2,84	2,15	2,57	111,67b	120,00a	97,50b	0,87b	0,81b	0,88b
45	88,98a	73,63a	62,28b	3,19	2,84	2,43	98,33b	129,17a	105,00b	0,82b	0,84b	0,78b
PANICULA												
0	36,91	40,25	38,91	1,05	0,78	0,85	69,17b	63,33c	49,17c	3,82	3,71	2,66
15	39,58	38,24	48,93	1,05	0,98	1,05	83,33a	80,83a	68,33b	3,02	3,84	3,31
30	53,60	40,91	41,58	1,05	0,85	1,26	55,83c	58,33c	54,17c	2,27	2,89	3,36
45	38,91	37,58	35,57	0,98	0,91	0,71	60,83c	52,50c	61,67c	2,57	2,33	3,71

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os turnos de rega dentro de cada dose de matéria orgânica.

Entretanto, observa-se um aumento na extração de cloro (Cl) com adição de M.O, destacando-se a dose de 45 t ha^{-1} no TR 24h com 58,33 g kg^{-1}. No TR 72h, a dose de 30 t ha^{-1} resultou em 56,67 g kg^{-1} e a de 15 t ha^{-1} em 55,83 g kg^{-1}, indicando que a quinoa extraiu mais Cl do que Na e K. Por outro lado, os teores de fósforo (P) no caule não apresentaram uma resposta satisfatória a incorporação de compostos orgânicos ao solo. Assim, o maior teor de extração desse nutriente foi encontrado na dose 0 no TR 72h com 6,07 g kg^{-1}

No material vegetal das folhas notou-se um efeito significativo da interação dos tratamentos aplicados, com exceção para o teor de sódio (Na) (p<0,05). Observou-se que os teores de potássio aumentaram com adição de M.O ao solo (Tabela 6), a aplicação da dose de 45 t ha^{-1} no TR de 24 h resultou na melhora da extração de K com 88,98 g kg^{-1}, este resultado foi similar ao da aplicação da dose de 30 t ha^{-1} no TR de 96 h, que obteve 81,64 g kg^{-1}, sendo semelhante a dose 0 do TR de 24 e 72 h, não diferindo estatisticamente (p<0,05). Além disso, observa-se que em comparação com o caule, as folhas apresentaram maior extração de cloro, notando-se que a aplicação da dose de 15 t ha^{-1} no TR de 72 h com 137,50 g kg^{-1} e a dose de 45 t ha^{-1} com 129,17 g kg^{-1}, no entanto, a dose 0 no TR de 96 h obteve o maior acúmulo de Cl com 138,33 g kg^{-1} sendo comparável aos tratamentos com aplicação de M.O. Para as folhas, notou-se uma redução na extração de P em comparado com o caule, assim o maior teor de P foi de 1,15 g kg^{-1}, alcançado com a dose de 15 t ha^{-1} no TR de 72 h, valor este que é similar ao obtido com a mesma dose no TR 96h com 1,05 g kg^{-1}. Este resultado é semelhante a dose 0 no TR de 72 h com 1,05 g kg^{-1}, que, sem a incorporação de M.O ao solo, apresentou uma boa acumulação desse nutriente nas folhas. No entanto, os tratamentos testados não influenciaram a extração de sódio nesse tecido vegetal, evidenciando uma redução em comparação com o caule.

Na panícula da quinoa conforme indicado na tabela 6, revelou um efeito significativo da interação dos tratamentos, somente no teor de cloro (Cl). Foi constatado que aplicação das doses de matéria orgânica ao solo diminuíram a absorção desse elemento pelas plantas, por exemplo, observou-se no TR de 96 h a dose de 30 e 45 t ha^{-1} promoveu o melhor acúmulo Cl com 54,17 e 61,67 g kg^{-1}, auxiliando na diminuição da absorção desse elemento. Por outro lado, adição de M.O ao solo e os turnos de rega não resultou em um efeito significativo para K, Na e P nas panículas das plantas de quinoa (p<0,05).

3.4.Produtividade de biomassa

A figura 2 demostra que, na produção de massa fresca da quinoa, somente as panículas apresentam um efeito significativo (p<0,05). As melhores doses de matéria orgânica são 30 t ha^{-1} resultando em 54,00 g e 45 t ha^{-1} com 67,67g de massa fresca da panícula nas plantas submetidas ao TR de 24 h, mas a dose zero as plantas sob o TR de 24 h sem aplicação de M.O obteve uma produção de 68,67g, similar aos tratamentos testados. Esse efeito foi observado para as plantas sob o TR de 72 e 96 h, onde a dose de 45 t ha^{-1} foi a única que se aproximou do desempenho do tratamento sem a incorporação de M.O no solo.

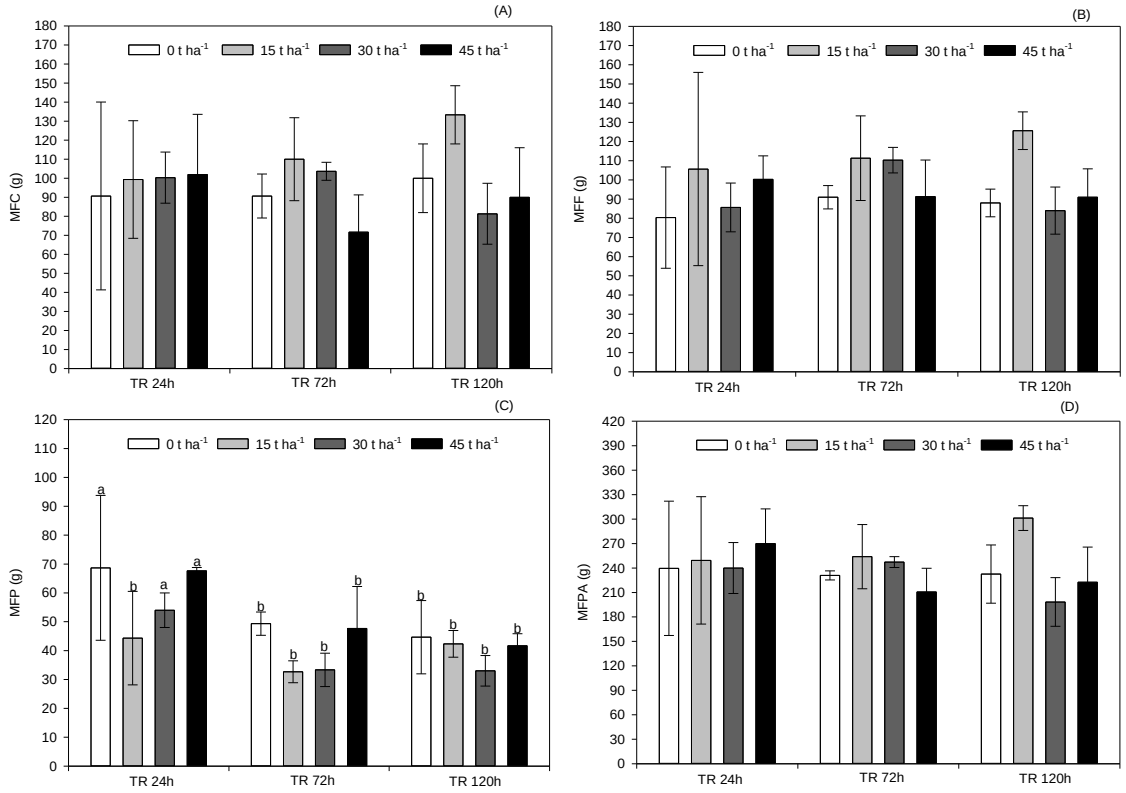

Figura 2. Produtividade de massa fresca do caule (A), folha (B), panícula (C) e total da parte aérea (D) de plantas de quinoa cultivadas sob aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina. Letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na produção de massa seca da quinoa observou-se um efeito significativo dos tratamentos aplicados para a produção de panículas (p<0,05). Esse resultado é consistente com os achados relacionado a massa fresca da planta conforme a figura 3. Nesse contexto, aplicação da matéria orgânica resulta em um aumento nas massas das panículas, assim houve um incremento de 1,59% para a dose de 45 t ha^{-1} nas plantas sob o TR de 24 h atingindo 21,67g, e um aumento de 36,12% nas plantas de quinoa submetidas ao TR de 72 h com 21,33g em relação a dose zero. Em contraste, o tratamento sem adição de M.O as plantas sob o TR de 24 h obtiveram 21,33g e 15,67g nas plantas com aplicação do TR de 72 h, entretanto, a aplicação da dose de 15 t ha^{-1} teve um desempenho comparável a dose de 45 t ha^{-1}. Contudo, a análise da figura 3 em relação à massa seca total da parte aérea, caule e folha, não se observou diferença significativa conforme o teste de Scott-Knott (p<0,05).

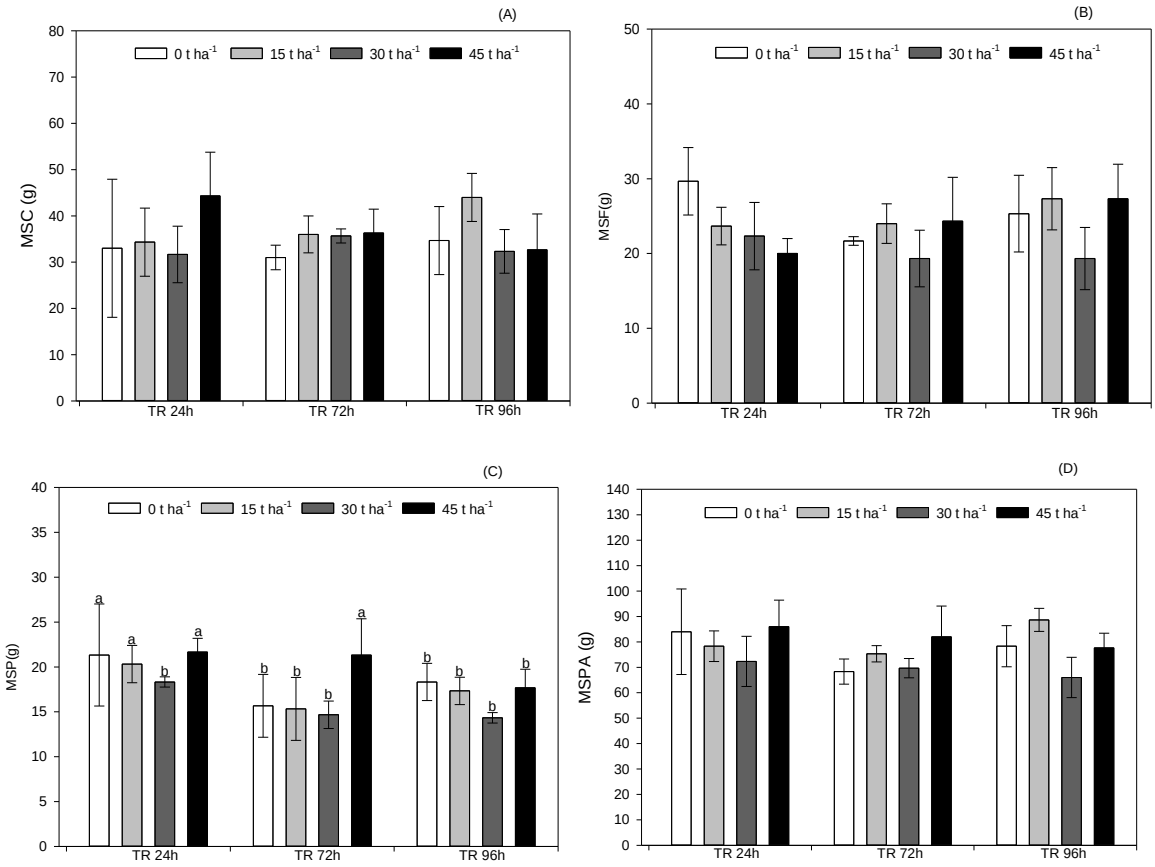

Figura 3. Produtividade de massa seca do caule (A), folha (B), panícula (C) e total da parte aérea (D) de plantas de quinoa cultivadas sob aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina. Letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

3.5.Respostas de crescimento e fisiológicas da quinoa

Na análise da altura das plantas de quinoa, conforme na figura 4 indica uma diferença significativa da interação dos tratamentos aplicados (p<0,05). No turno de rega de 24h, a adição de M.O ao solo resultou em um crescimento significativo na altura das plantas de quinoa, este aumento foi mais acentuado na dose de 45 t ha^{-1} alcançando 125,38 cm, representando um acréscimo de 8,16%. Em seguida, a dose de 30 t ha^{-1} mostrou um aumento de 0,33%, com as plantas atingindo 116,33 cm. Mas, as plantas do tratamento sem aplicação de matéria orgânica têm um desempenho similar com 115,92 cm. Entretanto, no TR 72h adição de M.O proporcionou um aumento na altura das plantas de quinoa, apresentando um desempenho similar aos do TR de 24h com as aplicações das doses de 30 e 45 t ha^{-1}, além do mais, essa tendência se repete no TR de 96h principalmente na dose de 15 e 45 t ha^{-1} com altura de 119,00 cm e 111,67 cm respectivamente.

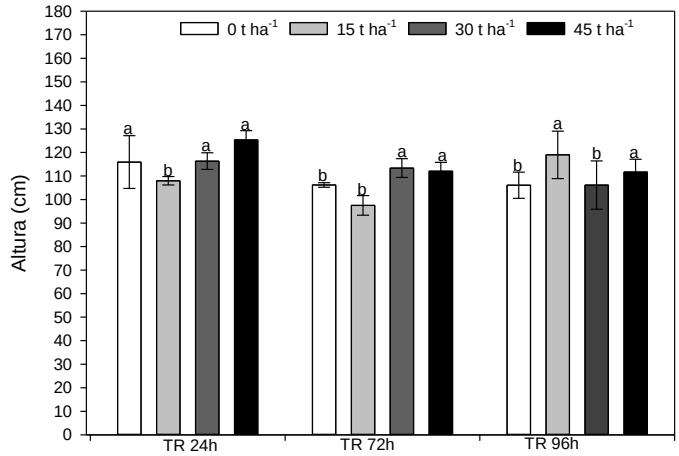

Figura 4. Variação da altura (cm) de plantas de quinoa cultivadas sob aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina. Letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A análise da figura 5 indica que houve uma diferença significativa da interação dos tratamentos no índice de área foliar (IAF) (p<0,05). Nesse contexto, a incorporação de matéria orgânica resulta em um aumento do IAF nas plantas de quinoa sob estresse. Notadamente, a aplicação de 15 t ha^{-1} no TR de 96h com um IAF de 1,73 m^2, enquanto a aplicação da dose de 30 t ha^{-1} no TR 72h atingiu um IAF de 1,41 m^2. Comparando com as plantas dos tratamentos sem adição de M.O, esses resultados representam um acréscimo de 100% no IAF.

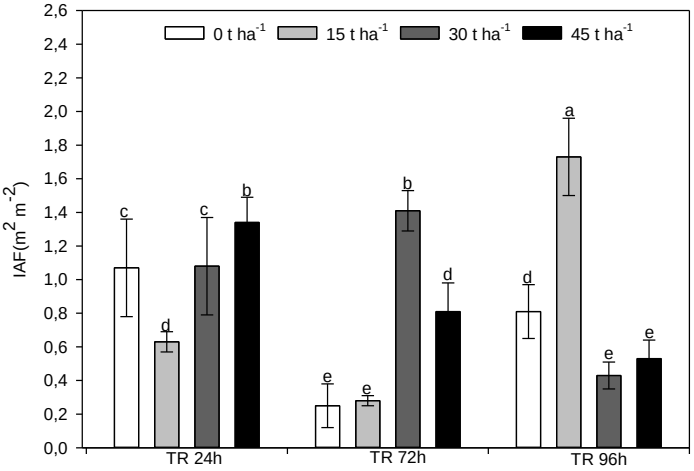

Figura 5. Alterações do Indice de área foliar (IAF) de plantas de quinoa cultivadas sob aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina. Letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na análise da condutância estomática das plantas de quinoa conforme a figura 6 mostra uma diferença significativa da interação dos tratamentos aplicados (p<0,05).

Nesse sentindo, a adição de matéria orgânica ao solo resultou na capacidade da quinoa de manter os estômatos abertos, sendo que a dose de 15 t ha^{-1} no TR de 24h foi mais eficaz, com uma condutância estomática de 205, 73 mmol $m^{-2}s^{-1}$. Isso sugere uma possível melhoria nas condições de desenvolvimento das plantas sob condições de estresse hídrico e salino, além do mais, observou-se que no TR 96h, o tratamento sem adição de M.O apresentou um comportamento semelhante a dose de 15 t ha^{-1} no TR 24h, com uma condutância de estomática de 199,50 mmol $m^{-2}s^{-1}$.

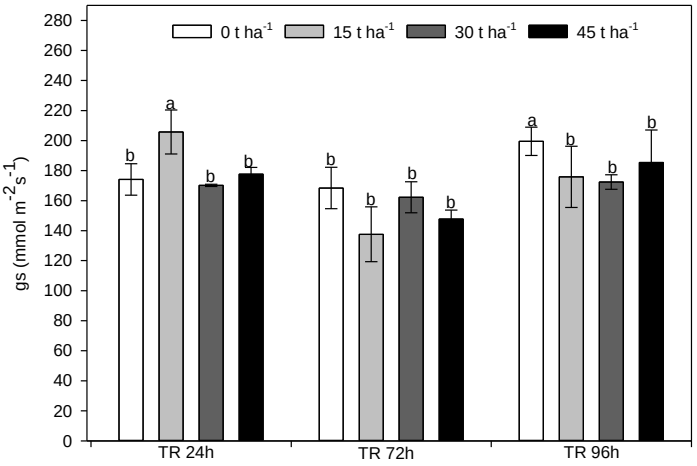

Figura 6. Variação da condutância estomática de plantas de quinoa cultivadas sob aplicação de doses de matéria orgânica com intervalos de irrigação com água salina. Letras minúsculas diferentes diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4. Discussão

4.1.Propriedades químicas do solo – Fase solúvel

Os tratamentos aplicados resultaram em uma redução da condutividade elétrica do solo, principalmente nas camadas superficiais de 0-10 e 10-20 cm, indicando uma redução da salinização. Dessa forma, a adição de M.O na dose de 45 t ha-1 contribuiu para uma redução da CEes para 3,90 dS m^{-1} no TR de 96 h na camada de 0-10 cm, e para 3,94 dS m^{-1} com a mesma dose e turno de rega, mas na camada de 10-20 cm. Este manejo nas camadas mais profundas não influenciou na redução da salinidade do solo, pois não difere da dose zero conforme mostrado na tabela 4, nas camadas de 20-40 e 40-60 cm. A influência positiva da matéria orgânica nas propriedades físicas do solo pode ser um fator crucial para a melhoria da lixiviação de sais, isso ocorre devido ao aprimoramento da estrutura do solo, infiltração da água e redução da dispersão das partículas ocasionado pelo excesso de sódio na solução do solo, além disso, a matéria orgânica fornece nutrientes como Ca^{2+} e Mg^{2+} que preenchem o complexo de saturação auxiliando na redução dos sais de Na^{+} do solo, consequentemente resultando na retenção de nutrientes essenciais no solo para o crescimento da quinoa (Diacono; Montemurro, 2015; Rekaby et al., 2021).

Segundo Wu et al., (2023) e Sultan et al., (2024), o uso de corretivos orgânicos é eficaz em reduzir a salinidade do solo, devido aumentar a disponibilidade de nutrientes, a CTC do solo, a porosidade e estabilidade dos agregados do solo. A matéria orgânica tem a capacidade de reter íons como sódio e cloro, devido a sua alta área superficial e cargas negativas que possui, acaba atraindo esses íons carregado positivamente se ligando a eles e impedindo que as plantas absorvam.

A presença elevada de sódio solúvel no solo pode aumentar a salinidade, o que pode interferir na absorção de potássio, no entanto, a aplicação de matéria orgânica pode aumentar a absorção de K pelas plantas de quinoa, como demonstrado pela baixa concentração no solo e o aumento no acumulo de K+ nas plantas de quinoa segundo na tabela 4 e 5 (Akhtar; Andersen; Liu, 2015; Palansooriya et al., 2019; Wu et al., 2023). Esse efeito é relatado por Rekaby et al., (2023) que relataram que a aplicação de compostos orgânicos aumenta a disponibilidade e absorção de K, além de ter a capacidade de reduzir a perda de nutrientes. Esse processo está associado as propriedades da matéria orgânica como a adsorção de íons, assim diminuindo o acúmulo de íons tóxicos quando em excesso no solo como sódio e cloro favorecendo a disponibilidade K (Tao et al., 2023).

A incorporação de compostos orgânicos ao solo resulta na melhora da dinâmica de nutrientes em solos sob condições de salinidade, no decorrer da decomposição substâncias como ácidos húmicos e fúlvicos são liberados, aumentando a concentração de nutrientes como K na solução do solo, além disso, auxilia no processo de lixiviação de sais que se acumulam devido ao uso continuo de água salina, melhorando as propriedades físicas, isso inclui a infiltração e drenagem da água que auxilia na redução do encharcamento no solo e cria um ambiente mais favorável ao desenvolvimento das plantas, justificando a redução do acúmulo de íons de Na e Cl no complexo de saturação e o aumento do K, bem como a redução da CEes do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Ding et al., 2017; Sultan et al., 2024; Tao et al., 2023).

Segundo Abrantes et al., (2024) e Wakeel (2013), o baixo teor de K solúvel pode ser explicado pela sua interação antagônica com o Na solúvel, devido as semelhanças das propriedades físico-químicas entre eles, assim a presença elevada de um poderá diminuir a disponibilidade do outro. Contudo, a tabela 4 indica altas concentrações de Cl solúvel em conjunto com Na, esse comportamento é relacionado a qualidade da água de irrigação aplicada no experimento, que apresenta concentrações elevadas de sódio e cloro (Tabela 1), além disso, as temperaturas elevadas no período de condução experimental podem ter contribuído para o acúmulo desses elementos no complexo de saturação, assim justificado pelo efeito significativo encontrado em nosso estudo conforme demostrado na tabela 4 (p<0,05).

4.2.Propriedades químicas do solo – Complexo sortivo

O complexo sortivo do solo mostra diferenças significativas em seus elementos, assim, observa-se uma variação do pH do solo entre 6,67 a 9,19, que se eleva com a aplicação de matéria orgânica e os turnos de rega. Segundo Rekaby et al., (2023), essa tendência pode ser atribuída a capacidade dos corretivos orgânicos de aumentar o pH do solo. Consequentemente, a decomposição da matéria orgânica resulta na disponibilidade

de cátions, os quais podem elevar o pH do solo (Sun et al., 2019). Além do mais, a decomposição da M.O e a liberação de ácidos orgânicos resultam na maior concentração de cátions básicos, estes se associam as áreas de troca presentes na superfície das partículas do solo, o que contribui para aumentar o pH (Awad, 2016), assim de acordo com nossos achados por exemplo, observa-se um pH de 8,69 na dose de 15 t ha^{-1} no TR 24h. Este resultado difere do relatado por Freire et al., (2023) onde se constatou que a adição de matéria orgânica em conjunto com a irrigação salina diminui o pH do solo, tornando-o ácido.

A adição de composto orgânico ao solo pode aumentar a disponibilidade superficial de K^+ no solo, contudo, pode resulta em uma concentração de Na^+ que possa influencia negativamente as concentrações de K^+ e P, levando à redução dos teores nas camadas mais profundas do solo. Esse comportamento ocorre devido a adição de compostos orgânicos capazes de reter o P, se ligando as superfícies de troca através de grupos funcionais ou a maior concentração de carbonato de cálcio e cloreto de cálcio presentes na irrigação com água salina adotada no experimento (Rekaby et al., 2021).Por outro lado, observou-se que a presença de Na^+ tem efeito antagônico sobre as concentrações de K^+, assim aplicação de M.O resultou na elevação do pH do solo, no entanto, esse efeito se mostrou mais evidente na camada superficial do solo, enquanto que nas camadas superficiais e mais profundas, a interação com Na^+ acarretou na redução de K^+ (Abrantes et al., 2024; Akhtar; Andersen; Liu, 2015; Ding et al., 2020; Wakeel, 2013).

Nesse sentindo o aumento da PST do solo associado ao aumento de Na^+, ocasionando a sodificação do solo, afetando negativamente a atividade dos microrganismos que atuam na decomposição da matéria orgânica, isso resulta na diminuição da disponibilidade de P e K^+ causado pelo aumento da PST (Ding et al., 2020). Por consequência dessa elevação frequentemente leva á alcalinização do solo, prejudicando suas propriedades físicas, como a estrutura e porosidade, e os efeitos químicos que podem intensificar o estresse osmótico (He et al., 2020). No entanto, o aumento da concentração de Na^+ e, por consequência o aumento da PST pode ser relacionado com o efeito direto da aplicação da irrigação com água salina, que fornece íons de Na^+ e Cl^- que podem substituir outros cátions como Ca^{2+} e Mg^{2+} que estão ligadas as partículas do solo, ocasionando o aumento da PST para as camadas mais profundas, dessa forma os dados obtidos (Tabela 5) evidenciam esse efeito (Pessoa et al., 2019). Assim, observa-se que aplicação de matéria orgânica ao solo, mostra-se eficaz superficialmente em relação aos parâmetros de sodicidade, pois em camadas mais profundas há elevação do Na^+ e a PST, portanto, na aplicação de compostos orgânicas ao solo é importante considerar o balanço catiônico dos resíduos para garantir um impacto positivo e efetivo na atenuação das condições de sodicidade do solo, contribuindo assim para a melhoria do ambiente de cultivo das plantas (Diacono; Montemurro, 2015; Leogrande; Vitti, 2019).

4.3.Íons no material vegetal

Com aplicação de compostos orgânicos ao solo como o esterco bovino utilizado neste estudo, resultou no aumento na extração de potássio (K^+) pelas plantas de quinoa, evidenciado em diferentes partes da planta como caule, folha e panícula (Tabela 6) associado a uma baixa absorção de Na^+. Esse efeito deve-se a matéria orgânica no solo, que serve como fonte de nutrientes para as plantas, potencializando assim sua absorção

pela maior disponibilidade no solo (Rekaby et al., 2021, 2023). Mas, importante ressaltar que a absorção intensa de K^+ pela quinoa é um mecanismo de adaptação ao estresse salino, para reduzir os danos causados por este, assim esse mecanismo é essencial para a tolerância á salinidade, uma vez que a quinoa demostra alta eficiência na retenção K^+ em seus materiais e órgãos, utilizando a absorção de Na^+ para balancear a relação K^+/Na^+, assim um aumento na absorção de Na^+ é contrabalanceado por um transporte elevado de K^+ para a parte aérea da planta como observado no caule, folha e panícula, esse comportamento é evidenciado em nosso estudo, que revelou altos teores de K^+ em seus tecidos da planta, enquanto a absorção de Na^+ foi reduzida em relação a K^+ (Adolf; Jacobsen; Shabala, 2013).

Além desse comportamento, foi verificado que as plantas de quinoa apresentam uma extração significativa de cloro (Cl^-) do solo, acumulando nos tecidos vegetais do caule, panícula e principalmente nas folhas conforme indicação na tabela 6. Esse resultado segundo Cai; Gao, (2020) é característico de plantas halófitas e está relacionado ao aumento no nível de salinidade do solo, resultando no acúmulo de íons como o Cl^-. Por outro lado, plantas tolerantes a sais como a quinoa, possuem um mecanismo de acúmulo e compartimentação de íons tóxicos para promover uma regulação osmótica mais eficiente, consequentemente, observou-se um maior acúmulo de Cl^- como estratégia de regulação pela planta em resposta ao estresse salino induzido pela irrigação como demostrado em nosso estudo (Acosta-Motos et al., 2017; Adolf; Jacobsen; Shabala, 2013; Hao et al., 2021). Mas, absorção elevada de Cl^- é acompanhado por altos teores de K^+ como resposta, fazendo assim um balanceamento iônico, este é favorecido pela aplicação da matéria orgânica que disponibilizou K^+ de forma lenta e gradativa, isso é mais evidente na análise dos nossos dados na tabela 6 que indicam esse comportamento principalmente nas folhas (Acosta-Motos et al., 2017; Adolf; Jacobsen; Shabala, 2013).

Em contraste, Hussin et al., (2023) observaram que com o aumento da salinidade eleva progressivamente os teores de Na^+ e consequentemente reduz os de K^+ nas plantas de quinoa, entretanto, nossos resultados diferem desse comportamento apontando para o inverso com o aumento de K^+ nos tecidos vegetais houve uma diminuição da absorção de Na^+ nas diferentes partes da planta, como caule, folha e panícula. Esse efeito segundo Rekaby et al., (2021) e Yang et al., (2020) é devido aplicação da matéria orgânica ao solo ter a capacidade de adsorver o excesso de Na^+ acarretando na redução do estresse osmótico, levando a uma diminuição da extração de Na^+ e o aumento da absorção de K^+ pelas plantas em todos os turnos de rega aplicado. Nesse sentido, de acordo com Palansooriya et al., (2019); Wu et al., (2023); Yang et al., (2020) compostos orgânicos podem aumentar a concentração de nutrientes no complexo de saturação do solo, havendo a liberação principalmente de K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} de forma lenta, assim atuando na redução da absorção de Na^+ pelas plantas.

Por outro lado, analisando a tabela 6 mostra-se que os teores de P na planta estão baixos podendo ser relacionado ao efeito da salinidade e o seca tem sobre a fertilidade do solo, consequentemente o acúmulo de sais na solução do solo e a presença de cátions básicos como Ca^{2+} e Mg^{2+} contribuem para elevação do pH do solo para faixas alcalinas podendo assim tornar o P indisponível no solo devido a interação com esses cátions, estando assim em formas que as plantas não conseguem absorve como fosfato de cálcio

e fosfato de magnésio, além da interação que o P no solo pode ter com elementos que venham por meio da irrigação salina como o cloreto de cálcio e carbonato de cálcio dificultando a extração das plantas (Freire et al., 2023; He et al., 2020; Rekaby et al., 2021; Xu et al., 2016). Além disso, o efeito combinado de seca com salinidade leva a diminuição de macronutrientes disponíveis no solo como o P, causado pelo aumento da salinidade devido à redução das irrigações do que a evapotranspiração, assim concentrando os sais presente no solo (Ding et al., 2020).

4.4.Produtividade de biomassa

Na produção de biomassa fresca e seca das plantas de quinoa, apenas foi possível evidência o aumento proporciona pela adição de matéria orgânica ao solo na produção das panículas, mitigando os efeitos da salinidade com seca que as plantas estavam no campo. Essa resposta é devido ao efeito direto ou indireto que compostos orgânicos tem sobre o crescimento das plantas, sendo que este atua como fonte de nutrientes como K, P, Ca e Mg auxiliando no crescimento (Amini et al., 2015). Nesse sentindo, nossos dados indicam uma melhora no acúmulo de massa fresca e seca sob condições de salinidade com seca, esse resultado difere de Hussain; Al-Dakheel; Reigosa, (2018) que em sua pesquisa relata uma diminuição significativa da biomassa da quinoa ocasionado pelo estresse salino e seca. Assim, segundo Munns; Tester, (2008) essa redução do crescimento das plantas é ocasionada pela inibição da divisão celular devido a absorção de Na^+, no entanto, as figuras 3 e 4 e tabela 6 indicam um baixo acúmulo de Na^+ pela quinoa refletindo no aumento do crescimento, esse desempenho pode ser associado ao benefício da aplicação da matéria orgânica que se mostra eficaz para estimular a produtividade de várias culturas (He et al., 2020).

Portanto, de acordo com Saifullah et al., (2018) compostos orgânicos permitem adsorver o Na^+ presente no solo salino diminuindo absorção nas plantas, dessa forma reduzindo os danos causados pela salinidade a quinoa. Esse comportamento é similar aos nossos achados porque a incorporação da matéria orgânica reduziu absorção de Na^+ e consequentemente elevou a absorção de K^+, mantendo a relação K^+/Na^+ em nível apropriado. Além de minimizar o efeito da salinidade sobre a quinoa, adição de matéria orgânica mitiga os efeitos do estresse hídrico sobre as plantas, assim segundo Akram; Libutti; Rivelli, (2023) há um efeito positivo de compostos orgânicos em aliviar os efeitos das condições de estresse hídrico. Nesse sentindo, esses compostos ajudam na melhora das propriedades físicas do solo como porosidade e a estrutura auxiliando no aumento da capacidade de retenção de água, assim fornecendo de forma gradual as plantas (Palansooriya et al., 2019; Wu et al., 2023). Mas, o efeito direto da matéria orgânica no aumento da produção de massa fresca e seca da quinoa sob condições de estresse hídrico é por meio do alivio do efeito osmótico causado pela alta concentração de sais na solução do solo que acarreta na diminuição da disponibilidade de água (Munns; Tester, 2008), assim a liberação de nutrientes como Ca^{2+} e K^+ melhora o crescimento da quinoa permitindo absorção de água e mantendo-se hidratada (Saifullah et al., 2018; Wu et al., 2023).

4.5. Respostas de crescimento e fisiológicas da quinoa

O crescimento da quinoa sob condições salina e estresse hídrico foi afetada significativamente pela aplicação de matéria orgânica ao solo, havendo um incremento

na altura das plantas de 8,16% com a dose de 45 t ha^{-1} no TR de 24h, desempenho que se repete para os TR de 72h e 96h. Esse impacto positivo da adição de compostos orgânicos é similar ao encontrado por Akram; Libutti; Rivelli, (2023) relatando um aumento nas alturas de plantas de quinoa. Entretanto, de acordo com Hussin et al., (2023) em consequência do efeito da salinidade a quinoa reduz seu crescimento como forma de se adaptar, mas com aplicação da matéria orgânica haverá a maior disponibilidade de nutrientes como K^+ melhorando a relação K^+/Na^+ que é considerado uma ferramenta para elevar os ganhos de crescimento das plantas em solos salinos (Saifullah et al., 2018). Por outro lado, incorporação de compostos orgânicos tem efeito direto ou indiretos nos atributos físicos do solo melhorando a capacidade de retenção de água e infiltração que contribuem para uma melhora no crescimento em altura da quinoa, além de atua na maior disponibilidade de água no solo por meio da redução da pressão osmótica causada pelo excesso de sais como Na^+ e Cl^- no complexo de saturação, de modo que a matéria orgânica liberar nutrientes que auxiliam no processo de lixiviação desses sais (Akhtar; Andersen; Liu, 2015; Amini et al., 2015).

Nesse contexto adição de matéria orgânica auxiliou as plantas de quinoa no aumento do índice de área foliar (IAF), dessa forma atenuando os efeitos do estresse salino advindo do acúmulo de sais no solo e o estresse hídrico ocasionado pelos os intervalos de irrigação. Esse desempenho se deve a melhora na nutrição das plantas, no acúmulo de osmólitos e o aumento da atividade enzimática dos sistemas antioxidantes de acordo com (Wu et al., 2023). Esses aumentos no IAF por compostos orgânicos estão relacionados a disponibilidade de nutrientes as plantas elevando-se as concentrações dos principais cátions no solo como K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Mn e Zn utilizados pelas plantas no seu desenvolvimento, assim melhorando o IAF da quinoa (Zhang; Wang; Feng, 2021). Mas, adição de matéria orgânica além de ajudar na mitigação do estresse hídrico auxilia na tolerância das plantas a salinidade, assim promovendo absorção de nutrientes e melhorando seus teores nos tecidos vegetais aumentando as relações K^+/Na^+ e Ca^{2+}/K^+ que são afetadas pela elevação da concentração de sais no solo (He et al., 2020; Soliman et al., 2023).

Assim, o aumento da matéria orgânica no solo contribui para criar um ambiente mais propicio ao cultivo da quinoa, dessa forma auxiliando na manutenção da condutância estomática em condições salina com estresse hídrico. Esse desempenho se deve a maior retenção de água na zona radicular da planta, mantendo-a mais hidratada além de diluir a concentração dos sais presente no solo, mantendo-se a disponibilidade hídrica para a planta causado pela maior presença da matéria orgânica (Acosta-Motos et al., 2017; Ding et al., 2017; Lal, 2020). No entanto, de acordo com Adolf; Jacobsen; Shabala, (2013) a quinoa em condições combinadas de salinidade e estresse hídrico promove uma redução da condutância estomática para se adaptar, esse efeito foi similar ao encontrado por (Hussin et al., 2023) onde as plantas mostram um fechamento dos estômatos. Mas, aplicação de matéria orgânica afeta positivamente a condutância estomática que leva a uma melhora na fotossíntese da planta em comparação a nenhuma adição de compostos orgânicos no solo (Ghassemi-Golezani; Rahimzadeh, 2023).

5. Conclusões

Os resultados obtidos nesse estudo revelaram que a incorporação de doses maiores de matéria orgânica como 45 t ha^{-1} e intervalos maiores de irrigação criam condições mais favoráveis para o desenvolvimento da quinoa. Além disso, a estratégia de manejo adotada auxiliou no aumento da absorção mais eficaz de elementos pela planta, com destaque para a alta extração de K e Cl que se acumularam principalmente nas folhas como mecanismo de adaptação. Assim, observou-se que a quinoa possui uma seletividade na absorção de elementos para melhora a regulação osmótica e o balanço de íons nos tecidos vegetais.

A utilização de intervalos maiores de irrigação com o uso de água salina não compromete o crescimento da quinoa, mas aumenta a produtividade de panículas. Além disso, o uso prolongado da água salina com intervalos de irrigação menores como o TR de 24 h, ocasiona o aumento da CEes, pH, Na^+ e Cl^- solúveis, isso sugere que sua utilização a longo prazo pode levar à salinização do solo ao longo do tempo. Por outro lado, intervalos de irrigação maiores são benéficos e podem ser vantajosos, contribuindo para a diminuição dos valores de CEes, PST, Na^+ e Cl^-, melhorando a qualidade do solo. Portanto, conclui-se que a aplicação de compostos orgânicos e intervalos mais longos de 3 ou 4 dias, oferece condições favoráveis para o cultivo da quinoa sob as condições testadas.

6. Referências

ABBAS, G. et al. Soil sodicity is more detrimental than salinity for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A multivariate comparison of physiological, biochemical and nutritional quality attributes. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 207, n. 1, p. 59–73, 1 fev. 2021.

ABRANTES, E. M. DE et al. Silicon Combined with *Trichoderma harzianum* and Organic Matter as an Environmental Friendly Strategy for Mitigating Salt Stress in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Sustainability 2024, Vol. 16, Page 2825**, v. 16, n. 7, p. 2825, 28 mar. 2024.

ACOSTA-MOTOS, J. R. et al. Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. **Agronomy 2017, Vol. 7, Page 18**, v. 7, n. 1, p. 18, 23 fev. 2017.

ADOLF, V. I.; JACOBSEN, S. E.; SHABALA, S. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 43–54, 1 ago. 2013.

AKHTAR, S. S.; ANDERSEN, M. N.; LIU, F. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. **Agricultural Water Management**, v. 158, p. 61–68, 1 ago. 2015.

AKRAM, M. Z.; LIBUTTI, A.; RIVELLI, A. R. Evaluation of Vegetative Development of Quinoa under Water Stress by Applying Different Organic Amendments. **Agronomy 2023, Vol. 13, Page 1412**, v. 13, n. 5, p. 1412, 19 maio 2023.

ALGOSAIBI, A. M. et al. The Effect of Irrigation Intervals on the Growth and Yield of Quinoa Crop and Its Components. **The Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 9, p. 182, 15 ago. 2017.

ALKHARABSHEH, H. M. et al. Field Crop Responses and Management Strategies to Mitigate Soil Salinity in Modern Agriculture: A Review. **Agronomy 2021, Vol. 11, Page 2299**, v. 11, n. 11, p. 2299, 13 nov. 2021.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMINI, S. et al. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. **Journal of Soils and Sediments 2015 16:3**, v. 16, n. 3, p. 939–953, 26 nov. 2015.

ANGON, P. B. et al. How Do Plants Respond to Combined Drought and Salinity Stress?—A Systematic Review. **Plants**, v. 11, n. 21, p. 2884, 1 nov. 2022.

AWAD, M. Y. M. POULTRY MANURE AND HUMIC ACID FOLIAR APPLICATIONS IMPACT ON CARAWAY PLANTS GROWN ON A CLAY LOAM. **Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering**, v. 7, n. 1, p. 1–10, 1 jan. 2016.

BABLA, M. et al. Value-added products as soil conditioners for sustainable agriculture. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 178, p. 106079, 1 mar. 2022.

BAGWASI, G.; AGENBAG, G. A.; SWANEPOEL, P. A. Effect of salinity on the germination of wheat and barley in South Africa. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, v. 6, n. 1, p. e20069, 1 jan. 2020.

BEYRAMI, H. et al. Effect of Irrigation Frequency on Yield and Yield Components of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) under Saline Condition. **JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND SUSTAINABLE PRODUCTION**, v. 30, n. 3, p. 347–357, 10 nov. 2020.

CAI, Z. Q.; GAO, Q. Comparative physiological and biochemical mechanisms of salt tolerance in five contrasting highland quinoa cultivars. **BMC Plant Biology**, v. 20, n. 1, p. 1–15, 12 fev. 2020.

DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Effectiveness of Organic Wastes as Fertilizers and Amendments in Salt-Affected Soils. **Agriculture 2015, Vol. 5, Pages 221-230**, v. 5, n. 2, p. 221–230, 24 abr. 2015.

DING, Y. et al. Potential Benefits of Biochar in Agricultural Soils: A Review. **Pedosphere**, v. 27, n. 4, p. 645–661, 1 ago. 2017.

DING, Z. et al. The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheat productivity. **Scientific Reports 2020 10:1**, v. 10, n. 1, p. 1–13, 17 fev. 2020.

EGEA, I. et al. Salt-tolerant alternative crops as sources of quality food to mitigate the negative impact of salinity on agricultural production. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1092885, 3 fev. 2023.

FENG, G. et al. Effects of saline water irrigation on soil salinity and yield of summer maize (*Zea mays* L.) in subsurface drainage system. **Agricultural Water Management**, v. 193, p. 205–213, 1 nov. 2017.

FERREIRA-SILVA, S. L. et al. Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 1, p. 51–59, 2008.

FREIRE, M. H. DA C. et al. Soil chemical attributes under combinations of organic fertilizing and water salinity. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, p. e75156, 7 jul. 2023.

GAMALERO, E. et al. Saline and Arid Soils: Impact on Bacteria, Plants, and Their Interaction. **Biology 2020, Vol. 9, Page 116**, v. 9, n. 6, p. 116, 2 jun. 2020.

GARCIA, M.; RAES, D.; JACOBSEN, S. E. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. **Agricultural Water Management**, v. 60, n. 2, p. 119–134, 23 maio 2003.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; RAHIMZADEH, S. Biochar-based nutritional nanocomposites: a superior treatment for alleviating salt toxicity and improving physiological performance of dill (*Anethum graveolens*). **Environmental Geochemistry and Health**, v. 45, n. 6, p. 3089–3111, 1 jun. 2023.

HAO, S. et al. A Review on Plant Responses to Salt Stress and Their Mechanisms of Salt Resistance. **Horticulturae 2021, Vol. 7, Page 132**, v. 7, n. 6, p. 132, 3 jun. 2021.

HE, K. et al. Biochar amendment ameliorates soil properties and promotes Miscanthus growth in a coastal saline-alkali soil. **Applied Soil Ecology**, v. 155, p. 103674, 1 nov. 2020.

HIRICH, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; JACOBSEN, S. E. Deficit Irrigation and Organic Compost Improve Growth and Yield of Quinoa and Pea. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 200, n. 5, p. 390–398, 1 out. 2014.

HOSSEINI, P.; BAILEY, R. T. Investigating the controlling factors on salinity in soil, groundwater, and river water in a semi-arid agricultural watershed using SWAT-Salt. **Science of The Total Environment**, v. 810, p. 152293, 1 mar. 2022.

HU, H. et al. Effects of planting quinoa on soil properties and microbiome in saline soil. **Land Degradation & Development**, v. 33, n. 15, p. 2689–2698, 1 set. 2022.

HUSSAIN, M. I.; AL-DAKHEEL, A. J.; REIGOSA, M. J. Genotypic differences in agro-physiological, biochemical and isotopic responses to salinity stress in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants: Prospects for salinity tolerance and yield stability. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 129, p. 411–420, 1 ago. 2018.

HUSSIN, S. A. et al. Morpho-physiological mechanisms of two different quinoa ecotypes to resist salt stress. **BMC Plant Biology**, v. 23, n. 1, p. 1–14, 1 dez. 2023.

IVUSHKIN, K. et al. Global mapping of soil salinity change. **Remote Sensing of Environment**, v. 231, p. 111260, 15 set. 2019.

KAOUTAR, F. et al. Yield and Dry Matter Simulation Using the Saltmed Model for Five Quinoa (*Chenopodium Quinoa*) Accessions Under Deficit Irrigation in South Morocco. **Irrigation and Drainage**, v. 66, n. 3, p. 340–350, 1 jul. 2017.

LAL, R. Soil organic matter content and crop yield. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, n. 2, p. 27A-32A, 1 mar. 2020a.

LAL, R. Soil organic matter and water retention. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 5, p. 3265–3277, 1 set. 2020b.

LEOGRANDE, R.; VITTI, C. Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. **Arid Land Research and Management**, v. 33, n. 1, p. 1–21, 2 jan. 2019.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. Volume 59, 2008, p. 651–681, 2 jun. 2008.

Olsen, S.R.; Sommers, L.E. Phosphorus. In *Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties*; Page, A.L., Ed.; **American Society of Agronomy; Soil Science Society of America**: Madison, WI, USA, 1982; pp. 403–430.

PALANSOORIYA, K. N. et al. Impacts of biochar application on upland agriculture: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 234, p. 52–64, 15 mar. 2019.

PESSOA, Luiz Guilherme Medeiros et al. Saline water irrigation in semiarid region: I-effects on soil chemical properties. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 7, 2019.

POWLSON, D. S. et al. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. **Nature Climate Change 2014 4:8**, v. 4, n. 8, p. 678–683, 30 jul. 2014.

RAZZAGHI, F. et al. Physiological characteristics and irrigation water productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to deficit irrigation imposed at different growing stages—A field study from Southern Iran. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 206, n. 3, p. 390–404, 1 jun. 2020.

REKABY, S. A. et al. Corn Cob-Derived Biochar Improves the Growth of Saline-Irrigated Quinoa in Different Orders of Egyptian Soils. **Horticulturae 2021, Vol. 7, Page 221**, v. 7, n. 8, p. 221, 3 ago. 2021.

REKABY, S. A. et al. Compost and Humic Acid Mitigate the Salinity Stress on Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd L.) and Improve Some Sandy Soil Properties. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 2, p. 2651–2661, 1 jun. 2023.

RICCARDI, M. et al. Growth and Ionic Content of Quinoa Under Saline Irrigation. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 200, n. 4, p. 246–260, 1 ago. 2014.

RICHARDS, Lorenzo Adolph. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. LWW, 1954.

SAIFULLAH et al. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. **Science of The Total Environment**, v. 625, p. 320–335, 1 jun. 2018.

SALCEDO, F. P. et al. Use of remote sensing to evaluate the effects of environmental factors on soil salinity in a semi-arid area. **Science of The Total Environment**, v. 815, p. 152524, 1 abr. 2022.

SILVA, J. O. N. DA et al. Effects of Silicon Alone and Combined with Organic Matter and Trichoderma harzianum on Sorghum Yield, Ions Accumulation and Soil Properties under Saline Irrigation. **Agriculture 2023, Vol. 13, Page 2146**, v. 13, n. 11, p. 2146, 14 nov. 2023.

SOLIMAN, M. H. et al. Biochar and Selenium Nanoparticles Induce Water Transporter Genes for Sustaining Carbon Assimilation and Grain Production in Salt-Stressed Wheat. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 42, n. 3, p. 1522–1543, 1 mar. 2023.

STAVI, I.; THEVS, N.; PRIORI, S. Soil Salinity and Sodicity in Drylands: A Review of Causes, Effects, Monitoring, and Restoration Measures. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 712831, 11 ago. 2021.

SULTAN, H. et al. Biochar and nano biochar: Enhancing salt resilience in plants and soil while mitigating greenhouse gas emissions: A comprehensive review. **Journal of Environmental Management**, v. 355, p. 120448, 1 mar. 2024.

SUN, Y. et al. Nitrogen drives plant growth to the detriment of leaf sugar and steviol glycosides metabolisms in Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 141, p. 240–249, 1 ago. 2019.

TAAIME, N. et al. Optimization of macronutrients for improved grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) crop under semi-arid conditions of Morocco. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1146658, 27 jun. 2023.

TAO, R. et al. Biochar nanoparticles alleviate salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. **Environmental Science: Nano**, v. 10, n. 7, p. 1800–1811, 13 jul. 2023.

USSL, U. S. S. L. S.-. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. U.S. Dept. of Agriculture, Washington, 1954

WAKEEL, A. Potassium–sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 3, p. 344–354, 1 jun. 2013.

WU, Y. et al. The critical role of biochar to mitigate the adverse impacts of drought and salinity stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1163451, 8 maio 2023.

XU, G. et al. Negative interactive effects between biochar and phosphorus fertilization on phosphorus availability and plant yield in saline sodic soil. **Science of The Total Environment**, v. 568, p. 910–915, 15 out. 2016.

YANG, A. et al. Biochar Mitigates Combined Effects of Drought and Salinity Stress in Quinoa. **Agronomy 2020, Vol. 10, Page 912**, v. 10, n. 6, p. 912, 25 jun. 2020.

ZHANG, Y.; WANG, J.; FENG, Y. The effects of biochar addition on soil physicochemical properties: A review. **CATENA**, v. 202, p. 105284, 1 jul. 2021.