



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
BACHARELADO EM AGRONOMIA

LEONARDO FRANCELINO DE SOUZA

**O AUMENTO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA REDUZ OS EFEITOS
DELETÉRIOS DA SALINIDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DA PALMA
FORRAGEIRA?**

SERRA TALHADA-PE

2022

LEONARDO FRANCELINO DE SOUZA

**O AUMENTO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA REDUZ OS EFEITOS
DELETÉRIOS DA SALINIDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DA PALMA
FORRAGEIRA?**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Bacharelado em Agronomia pela Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Acadêmica de Serra Talhada, para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. DSc. Thieres George Freire
da Silva

SERRA TALHADA-PE

2022

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)

- S729a Souza, Leonardo Francelino de
O aumento da adubação nitrogenada reduz os efeitos deletérios da salinidade em sistemas de produção da palma forrageira? / Leonardo Francelino de Souza. - 2022.
43 f. : il.
- Orientador: Thieres George Freire da Silva.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Agronomia, Serra Talhada, 2022.
1. Opuntia stricta. 2. Semiárido. 3. Irrigação. 4. Sais. 5. Nitrogênio. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Título

CDD 630

LEONARDO FRANCELINO DE SOUZA

**O AUMENTO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA REDUZ OS EFEITOS
DELETÉRIOS DA SALINIDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DA PALMA
FORRAGEIRA?**

Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

APROVADO em _____ de _____ de 2022

Banca Examinadora

Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva – UFRPE/FAST
(Orientador)

MSc. Marcelo José da Silva - UFRPE/FAST
(Examinador)

Prof. DSc. Luciana Sandra Bastos de Souza - UFRPE/FAST
(Examinador)

Aos meus Pais, Severino do Ramo Souza e Maria José Verônica de Souza, aos meus irmãos, Nívia Verônica de Souza e Leandro Ramos de Souza, a minha esposa Márcia Regina Pereira da Silva, a meu amigo Marcelo José da Silva e a minha madrinha Maria José, exemplos de pessoas resilientes, trabalhadoras, honestas, que sempre acreditaram em mim e que não pouparam esforços para me proporcionar o estudo. Por todo o carinho, paciência, conselhos e incentivos que sempre me ajudaram a continuar. Com toda minha admiração e gratidão.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela força diária para superar todos os obstáculos durante o curso e também por ter abençoado meu caminho e colocado pessoas maravilhosas na minha vida durante todo o curso.

Á minha mãe Maria José e meu pai Severino do Ramo que apoiaram a minha decisão de estudar longe de casa e que apesar da distância sempre acreditaram no meu potencial, me deram todo o apoio e me incentivaram a continuar. Á meus irmãos Nívia Verônica, Leandro Ramos e minha madrinha Maria José que sempre torceram pelo meu sucesso e me deram todo apoio.

Á minha esposa Márcia Regina por todo amor, companheirismo, carinho, compreensão e incentivo diário. Obrigado por me ajudar e apoiar nos momentos mais difíceis dessa fase.

Aos meus sogros José Marcelino e Maria Madalena, e amigos Maílson, Maurício, Rafael, Jucélia, Odair, Rivaldo e minhas cunhadas Marcela, Marly e Natália que sempre fizeram me sentir querido.

Um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Thieres George Freire da Silva, pela oportunidade de me aceitar como seu orientando e permitir que eu participasse do seu grupo de pesquisa. Por todos os ensinamentos, conselhos e orientações tanto pessoais como também na vida acadêmica. Foi um prazer ser seu orientando e poder aprender com um profissional de extrema qualidade e competência.

Ao meu coorientador e cunhado Marcelo José, pelo grande amigo que tem sido, por ter sido minha referência de que o estudo era possível e por sempre estar disponível para tirar minhas dúvidas. Agradeço por dedicar um pouco do seu tempo a me ensinar e pelas nossas conversas sempre esclarecedoras e animadas.

Aos meus grandes amigos que pude dividir apartamento e conviver academicamente George do Nascimento, Jandis Ferreira, João Pedro e Luiz Fernando. Agradeço pela grande apoio, companheirismo, conversas e conselhos. Me orgulho de ter conhecido pessoas maravilhosas como vocês. O meu muito obrigado.

Aos amigos, Thalyta Soares dos Santos e Allan Rodrigues da Silva pelas amizades, oportunidades, orientações e momentos que pude muito aprender com vocês.

Á todos os meus colegas de turma, em especial à: José Orlando, Irlândio Santana, Renan Matheus, Gustavo Lira, Wagner Martins, Victor Henrique levarei todos vocês comigo. Obrigado pela ajuda, amizade, companheirismo e pelos momentos que

compartilhamos nos corredores da UAST e também por todos os momentos felizes que presenciamos nas viagens de aulas práticas.

Aos integrantes do Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS), em especial à Kaique Salvador, Cleber Pereira, Gebson Pinheiro, Alexandre Maniçoba, Maria Gabriela, Mery e Carlos André, pelas oportunidades que me proporcionaram. Agradeço ainda, por todo o aprendizado e momentos vividos em prol da ciência.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), pela oportunidade e por toda a qualidade do ensino oferecido e infraestrutura cedida durante as pesquisas.

Aos professores que fizeram parte da minha formação, sendo todos de excelente qualidade, dedicados e comprometidos com o ensino. Pelas experiências e aprendizado. Levarei comigo um pouco de cada um na minha vida pessoal e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de iniciação científica, e financiamento dos projetos de pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos a todos!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do experimento com palma forrageira, cultivada no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras (UFRPE/UAST), município de Serra Talhada-PE, Semiárido brasileiro.	23
Figura 2. Evapotranspiração de referência (ET _o), temperatura média do ar (T _{méd}), umidade relativa do ar (UR), precipitação pluviométrica (P) e lâmina de irrigação (LI) em área cultivada com palma forrageira, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020, em Serra Talhada – PE. Fonte: INMET.	25
Figura 3. Croqui da área experimental	26
Figura 4. Largura das plantas de palma forrageira (cm) Orelha de Elefante Mexicana, cultivadas com aplicação de níveis de nitrogênio e irrigada com água salina, em Serra Talhada - PE, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020.	29
Figura 5. Altura das plantas de palma forrageira (cm) Orelha de Elefante Mexicana, cultivadas com aplicação de níveis de nitrogênio e irrigada com água salina, em Serra Talhada - PE, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020.	31
Figura 6. Número total de cladódios da palma forrageira (u) Orelha de Elefante Mexicana, cultivadas com aplicação de níveis de nitrogênio e irrigada com água salina, em Serra Talhada - PE, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020.	32
Figura 7. Produtividade de matéria fresca da palma forrageira (Mg ha ⁻¹) Orelha de Elefante Mexicana, cultivadas com aplicação de níveis de nitrogênio e irrigada com água salina, em Serra Talhada - PE, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020.	33
Figura 8. Produtividade de matéria seca da palma forrageira (Mg ha ⁻¹) Orelha de Elefante Mexicana, cultivadas com aplicação de níveis de nitrogênio e irrigada com água salina, em Serra Talhada - PE, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação da água proposta pelo United States Department of Agricultural (USDA), apresentada por Richards (1954).....	19
Tabela 2. Propriedades físicas e químicas do Cambissolo Háptico da área experimental em Serra Talhada-PE.	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS:.....	14
2.1 Geral:	14
2.2 Específicos:.....	14
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO	14
3.1 Mudanças climáticas.....	14
3.2 A cultura da palma forrageira.....	15
3.3 Nitrogênio e adubação nitrogenada	17
3.4 Salinidade de solos e águas	18
3.5 Degradação dos solos	20
3.6 Impactos da salinidade na agricultura	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 Características e local da área experimental.....	23
4.2 Cultura, delineamento e tratamentos	25
4.3 Manejo cultural e de irrigação	27
4.4 Análise biométrica e de biomassa da palma forrageira	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6. CONCLUSÕES	35
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

RESUMO

Os efeitos negativos advindos da salinidade sobre as plantas, estão relacionados ao desenvolvimento, produtividade e, em casos mais graves, a senescência das mesmas. Estudos afirmam que a adubação nitrogenada, além de suprir as demandas fisiológicas dos vegetais, possui a capacidade de atenuar os efeitos deletérios da salinidade. Nessa perspectiva, o presente estudo investigou o efeito da adubação nitrogenada no desenvolvimento e produtividade da palma forrageira como forma de mitigação dos efeitos deletérios da irrigação com água salina. O estudo foi realizado no “*Centro de Referência Internacional de Estudos de Agrometeorologia de Palma e outras Plantas Forrageiras*”, localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) - Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), em Serra Talhada-PE. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos, consistindo em níveis de adubação nitrogenada (50; 150; 300 e 450 kg ha⁻¹ de N), com quatro repetições. Para isto, utilizou-se clone utilizado foi a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.). No final do ciclo, por meio de eventos biométricos e de biomassa, foram analisadas as variáveis altura de planta (AP, cm), largura da planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unid.), rendimento de massa fresca (MF, Mg ha⁻¹) e massa seca (MS, Mg ha⁻¹). Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade, análise de variância e regressão. Os resultados mostraram que a aplicação dos níveis de nitrogênio potencializou o desenvolvimento da OEM mesmo com aplicação de água tipo C3. A adubação nitrogenada proporcionou incremento em todas as variáveis estudadas até a dose de 300 kg ha⁻¹ (dose de melhor desempenho), entretanto a dose de 450 kg ha⁻¹ apresentou um leve decréscimo quando comparadas entre si. As doses máximas de N determinadas através do modelo foram de 284,83 kg ha⁻¹ (88,39 cm); 336,25 kg ha⁻¹ (72,76 cm); 383,00 kg ha⁻¹ (22 unid.); 290,05 kg ha⁻¹ (310,10 Mg ha⁻¹) e 276,75 kg ha⁻¹ (23,01 Mg ha⁻¹) para AP, LP, NTC, MF e MS, respectivamente. Para as condições impostas, a adubação nitrogenada potencializa as características morfológicas e produtivas da palma forrageira (OEM) irrigada com água salina no semiárido brasileiro. Entretanto, como sugestão, faz-se necessário uma pesquisa mais detalhada para uma conclusão segura sobre a atenuação dos efeitos deletérios da salinidade, uma vez que a literatura é inconclusiva quanto à tolerância deste clone.

Palavras-chave: *Opuntia Stricta*, Semiárido, irrigação, sais, nitrogênio.

ABSTRACT

The negative effects arising from salinity on plants are related to their development, yield and, in more severe cases, their senescence. Studies claim that nitrogen fertilization, in addition to meeting the physiological demands of plants, has the ability to attenuate the deleterious effects of salinity. In this perspective, the present study investigated the effect of nitrogen fertilization on the development and productivity of forage cactus as a way of mitigating the deleterious effects of irrigation with saline water. The study was carried out at the "International Reference Center for Agrometeorology Studies of Palma and other Forage Plants", located at the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE) - Serra Talhada Academic Unit (UAST), in Serra Talhada-PE. The experiment was carried out in a randomized block design (CBD), with four treatments, consisting of nitrogen fertilization levels (50; 150; 300 and 450 kg ha⁻¹ of N), with four replications. For this, a clone used was the Mexican Elephant Ear (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.). At the end of the cycle, through biometric and biomass events, the variables plant height (AP, cm), plant width (LP, cm), total number of cladodes (NTC, units), mass yield fresh (MF, Mg ha⁻¹) and dry mass (DM, Mg ha⁻¹). The data obtained were submitted to normality tests, analysis of variance and regression. The results showed that the application of nitrogen levels potentiated the development of the OEM even with the application of type C3 water. Nitrogen fertilization provided an increase in all variables studied up to the dose of 300 kg ha⁻¹ (best performance dose), however the dose of 450 kg ha⁻¹ showed a slight decrease when compared to each other. The maximum doses of N determined through the model were 284.83 kg ha⁻¹ (88.39 cm); 336.25 kg ha⁻¹ (72.76 cm); 383.00 kg ha⁻¹ (22 units); 290.05 kg ha⁻¹ (310.10 Mg ha⁻¹) and 276.75 kg ha⁻¹ (23.01 Mg ha⁻¹) for AP, LP, NTC, MF and MS, respectively. For the imposed conditions, nitrogen fertilization enhances the morphological and productive characteristics of forage cactus (OEM) irrigated with saline water in the Brazilian semiarid region. However, as a suggestion, a more detailed research is necessary for a safe conclusion on the attenuation of the deleterious effects of salinity, since the literature is inconclusive about the tolerance of this clone.

Keywords: *Opuntia stricta*, Semi-arid, irrigation, salts, nitrogen.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos maiores desafios da humanidade consiste em contornar os efeitos das mudanças climáticas, visto que esses podem apresentar prejuízos irreparáveis a setores agrícolas e ambientais, afetando a economia e o bem estar do planeta (CUNHA et al., 2013). Nessa perspectiva, estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de comprovar os reais impactos da mudança do clima nas mais diversas regiões.

Os prejuízos tendem a ser ainda mais grave em regiões semiáridas, onde a maioria dos cultivos agrícolas são dependentes das condições climáticas, tornando a atividade mais vulnerável (PENHA; MIYAMOTO; MAIA, 2021). Essas regiões são caracterizadas por um período chuvoso curto e irregular, com média inferior a 800 mm ano⁻¹, apresentando limitações na oferta de forragem, o que dificulta ainda mais o desenvolvimento da atividade agropecuária (FONSECA et al., 2019).

Nessas condições, o manejo de irrigação torna-se uma das principais estratégias capazes de reverter tal situação (SILVA et al., 2014; SALVADOR et al., 2021), no entanto, a escassez e a baixa qualidade dos recursos hídricos disponíveis (i.e. água salina) podem inviabilizar seu uso, afetando a qualidade dos solos e o desenvolvimento da maioria das culturas (SILVA et al., 2013). Para Fonseca et al. (2019), em regiões que apresentam limitações hídricas, a utilização de água de baixa qualidade torna-se necessária, tendo em vista que essa alternativa é a única forma de garantir a produção agrícola e atender as necessidades humanas. Dessa forma, a escolha da espécie agrícola depende de seu desempenho produtivo e de sua resiliência as condições ambientais e hídricas as quais será submetida.

Adaptada as condições semiáridas, a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), destaca-se por apresentar elevada produtividade em condições de baixa disponibilidade hídrica, havendo maior eficiência do uso da água em comparação a outras culturas (SALVADOR et al., 2021). Isso ocorre devido ao metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), que lhe confere características fisiológicas especiais quanto à absorção, perda e aproveitamento de água, fazendo-a tolerar longos períodos de estiagem e fatores abióticos desfavoráveis (NUNES, 2011; SILVA et al., 2015; JARDIM et al., 2021).

Embora seja resiliente, quando submetida ao manejo de irrigação em períodos secos, a palma forrageira tende a potencializar sua produção (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021). No entanto, a depender da espécie/clone cultivada, a qualidade da água pode afetar suas características morfológicas e produtivas.

A literatura ainda não definiu os níveis de salinidade limiar para os distintos gêneros de palma forrageira (PEREIRA, 2020). Entretanto, nos últimos anos, pesquisadores têm desenvolvido estudos sobre essa temática. Felix et al. (2018), Freire et al. (2018) e Santos et al. (2020), verificaram que o efeito da salinidade na cultura na produtividade da palma forrageira depende da condutividade elétrica e do clone utilizado.

O excesso de sais promove a desestabilização fisiológica da planta, alterando suas funções normais e reduzindo suas chances de desenvolvimento e sobrevivência (CARVALHO et al., 2015). Os impactos causados sobre os vegetais em imediato são: seca fisiológica, consequência da diminuição do potencial osmótico, desbalanceamento nutricional por causa da elevada concentração de íons, principalmente o sódio que inibe a absorção de outros nutrientes essenciais e o efeito tóxico de íons de cloro e sódio em particular (SANTANA et al., 2003). Além disso, os solos salinos em geral possuem baixas concentrações de nitrogênio, que além de ser considerado um nutriente essencial o desenvolvimento das plantas, também atua como estimulante de crescimento das mesmas (SILVA et al., 2011; SANTOS et al., 2020).

Ao ser absorvido, o nitrogênio se associa às cadeias carbonadas, que atuará promovendo o aumento das constituintes celulares que como resultado incrementa o vigor da rebrota e a produtividade de massa seca das plantas em condições climáticas favoráveis (GALINDO et al., 2018). Estudos recentes têm apontado que os efeitos proporcionados pelo uso de adubação nitrogenada vão além de suprir as necessidades fisiológicas das culturas agrícolas, atuando de forma a atenuar os efeitos deletérios da salinidade no solo (NOBRE et al., 2013; FEIJÃO et al., 2013). Tal fato acontece devido à elevação de N, promovendo uma maior acumulação de compostos orgânicos nitrogenados, que realizam importante papel no balanço osmótico celular, além de estabilizar estruturas subcelulares sob condições de estresse salino (PARIDA; DAS, 2005).

Segundo Silva et al. (2016) as extrações de nitrogênio pela palma forrageira (*Opuntia* sp.) chega a atingir a ordem de 177 kg de N para cada 10 toneladas de matéria seca produzida. Porém, dados sobre a melhor dose de nitrogênio para esta cultura ainda são escassos na literatura. Dessa forma, o presente estudo busca preencher essa lacuna partindo da hipótese de que adubação nitrogenada potencializa o desenvolvimento morfológico e produtivo da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana atenuando os efeitos da irrigação com água salina em condições semiáridas.

2. OBJETIVOS:

2.1 Geral:

Analisar o efeito da aplicação de níveis de nitrogênio no desempenho biométrico e produtivo da palma forrageira como forma de mitigação dos efeitos deletérios da irrigação com água salina. Afim de buscar alternativas para contornar os impactos negativos relacionados a irrigação com água salina no cultivo palma forrageira localizados no Semiárido brasileiro.

2.2 Específicos:

Determinar a dose de nitrogênio que promove a maior produtividade da palma forrageira;

Determinar a dose máxima de N para cada variável de crescimento analisada (Altura; Largura; Número Total de Cladódios, Produtividade de Matéria Fresca e Seca).

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 Mudanças climáticas

O efeito estufa é um fenômeno natural do planeta Terra que possibilita a conservação da temperatura em um nível de equilíbrio ao qual permite que o planeta possa ser habitado. Porém, o aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE) de forma desordenada por ações antrópicas, sobretudo pela queima de combustíveis fósseis e desmatamento, pode ocasionar o desenvolvimento de uma camada de poluentes que funciona como um isolante térmico retendo a temperatura, intensificando o efeito estufa e provocando o aquecimento do planeta (OLIVEIRA; VECCHIA, 2013; RICHTER; LARA; ANDREAZZA, 2021).

Os múltiplos panoramas estudados sobre as mudanças climáticas para o país, em função dos cenários de emissões de GEE (sobretudo o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O)), para os próximos 100 anos, indicam a possibilidade de impactos climáticos expressivos (NOBRE, 2010).

Diante dos efeitos das mudanças climáticas, a região semiárida, caracterizada pela alta demanda atmosférica, será susceptível a uma maior evaporação de rios, lagos, açudes e elevada demanda transpiratória das plantas, tornando a água mais escassa, aumentando as dificuldades de desenvolvimento da região, sendo intensificada pela redução substancial das chuvas (MARENGO, 2008).

Com esta tendência de diminuição dos recursos hídricos no semiárido, cresce a importância para o monitoramento dos eventos de seca que assolam a região. Desta forma, existem muitos índices que são utilizados para o monitoramento de vários tipos de seca, entre

eles, o SPI (Standardized Precipitation Index, em inglês) que quantifica o déficit ou o excedente de precipitação em várias escalas de tempo (1,2,3,6,12, 24, ... meses). O uso desse índice se encontra em expansão pelo mundo e no Brasil é um dos métodos recomendados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para diagnosticar irregularidades nos eventos de precipitação. O cálculo do SPI no país vem sendo realizado desde o ano de 2002, com resultados obtidos divulgados através de mapas (SANTOS et al., 2013; SANTOS et al., 2017).

O bioma Caatinga por ser bastante vulnerável as mudanças climáticas, tenderá a sofrer mudanças drásticas ao passar do tempo, pois segundo o Quarto Relatório do IPCC (International Panel on Climate Change) (IPCC, 2007) o semiárido irá se tornar mais árido e terá um aumento gradativo da temperatura com o passar dos anos, ocasionando secas mais frequentes e severas, e conseqüentemente a diminuição dos recursos hídricos da região, resultando em um impacto negativo na vegetação, biodiversidade e nas atividades que dependem destes recursos (ANGELOTTI; FERNANDES JÚNIOR; SÁ, 2011).

Segundo Lacerda et al., (2016) as evidências de mudanças climáticas no estado do Pernambuco mostram que a temperatura do ar é crescente, havendo um aumento de 4°C na temperatura máxima diária entre os anos de 1961 e 2009. Além disso, Nobre (2011), descreve que para o mesmo período (1961 a 2009) houve uma redução média de 275 mm da precipitação (correspondendo 57% do total) e expõe que o aumento dos períodos máximos de estiagem que passaram de 20 para 35 dias, esteve acompanhado da diminuição anual de chuvas e também do aumento de ocorrências de precipitação pluviométricas de alta intensidade (i.e. superiores a 50 mm em 24 horas) passando de 5 para 9 no ano. Fato preocupante, levando em consideração que atualmente os recursos hídricos por pessoa são insuficientes em alguns estados do Nordeste, incluindo o Pernambuco (MARENCO, 2008).

3.2 A cultura da palma forrageira

A palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) é uma planta que se originou no México, e hoje pode ser encontrada em todo o mundo (SEVERO et al., 2015). Atualmente, estima-se que essa cultura ocupa cerca de 500 mil hectares do Nordeste brasileiro, estando concentrada principalmente nos estados de Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Rio Grande do Norte e Bahia (OLIVEIRA; JUNQUEIRA; MASCARENHAS, 2011).

A palma forrageira é de suma importância para a pecuária da região semiárida, tendo em vista que é uma cultura bem adaptada ao clima devido ao seu mecanismo fisiológico do

tipo MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas) que proporciona a cultura uma melhor absorção, aproveitamento e diminuição da perda de água (OLIVEIRA et al., 2010).

Para expressar todo o seu potencial produtivo, a palma forrageira deve ser cultivada em regiões que o regime pluviométrico anual apresente valores entre 368 mm a 812 mm ano⁻¹. No entanto, em locais de regime pluviométrico seja inferior a estes, faz-se necessário o uso de irrigação complementar com o objetivo suprir a demanda hídrica e maximizar a produção de forragem da cultura (SALVADOR et al., 2021).

De acordo com estudo realizado por Silva et al. (2015), os clones de palma forrageira Miúda (*Nopalea cochenilifera* Salm- Dyck), Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia Stricta* Haw. (Haw.)) e IPA Sertânia (*Nopalea cochenilifera* Salm- Dyck) são resistentes as Cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929; Hemiptera: Dactylopiidae) atingiram produtividades de 117,5, 163,0 e 124,3 t ha⁻¹ de massa fresca (MF) e 11,5, 15,6 e 10,7 t ha⁻¹ de massa seca, respectivamente. Contudo, em épocas com boa disponibilidade hídrica e condições nutricionais adequadas, associada ao uso de estratégias de cultivo (i.e., espaçamento, densidades de plantio, entre outros), os resultados de crescimento, produtividade e qualidade nutricional da forragem podem ser ainda maiores (BARROS et al., 2016).

De acordo com Almeida (2012), a palma é um alimento que apresenta boa palatabilidade, facilitando o seu consumo pelos animais; além disso, apresenta um alto valor energético e boa digestibilidade, sendo um alimento fresco que supre grande parte das necessidades de água dos animais na época de escassez.

Conforme Santos et al. (2005) e Dubeux Junior et al. (2010) a palma forrageira apresenta baixos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), em relação à recomendação de níveis mínimos indicados para a dieta de ruminantes. Diante desse contexto, se faz necessária a utilização da palma associada a outro alimento proteico e fibroso, como por exemplo, as gramíneas forrageiras.

A palma forrageira pode também ser usada para recuperação de áreas degradadas em regiões semiáridas, pois a cultura é bastante apta as condições inóspitas de solos rasos e pobres que sofrem ou sofreram antropização, além do mais, ela consegue suportar um déficit hídrico durante suas fazes iniciais de desenvolvimento (PEREIRA et al., 2012). O uso da palma forrageira também diminui o consumo de água pelos animais, devido a mesma apresentar até 90% de água na sua composição fisiológica (LIMA et al., 2003; GALVÃO JÚNIOR, 2014).

3.3 Nitrogênio e adubação nitrogenada

Considerado um dos nutrientes essenciais para a planta, o nitrogênio (N) está presente na composição das mais importantes biomoléculas como: ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas. A disponibilidade de N nos agroecossistemas, na maioria das vezes, é um fator limitante, exercendo forte impacto sobre o desenvolvimento das plantas. Diante de sua importância e por possuir alta mobilidade no solo, a maioria dos estudos envolvendo este elemento tem como objetivo maximizar a eficiência do seu uso, reduzir as perdas, melhorar a absorção e a metabolização do N na planta (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000; CARVALHO; ZABOT, 2012).

A eficiência neste caso é mais em relação capacidade de recuperação de N pelas plantas, sem desconsiderar as perdas que comumente acontecem. Segundo Bredemeier e Mundstock (2000), normalmente, menos de 50% do nitrogênio aplicado como fertilizante é aproveitado pelas culturas, uma vez que as perdas deste elemento no solo são decorrentes dos inúmeros processos aos quais o nitrogênio está sujeito. O nitrogênio é perdido principalmente pela lixiviação de nitrato, volatilização de amônia e emissão de N_2 , N_2O e outros óxidos de nitrogênio (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000; CARVALHO; ZABOT, 2012).

O N pode ser encontrado no solo na forma nítrica ($N^-NO_3^-$) ou amoniacal ($N^-NH_4^+$) sendo a primeira em maior quantidade, devido ao processo de nitrificação feito por bactérias que induzem a oxidação do amônio livre. O nitrato é assimilado por raízes, parte aérea, ou em ambos os lugares, já o amônio, por possuir efeitos tóxicos, é comumente assimilado nos sistemas radiculares. A enzima redutase do nitrito (RN) que catalisa a redução do nitrato a nitrito, tornando-se a principal porta de entrada de nitrogênio nítrico no metabolismo das plantas. O nitrito é reduzido a amônio pela enzima redutase de nitrito (RNi), sendo assimilado glutamina sintetase (GS) e glutamato 2-oxoglutarato aminotransferase (GOGAT), que formam o ciclo GS/GOGAT, ou pela enzima glutamato desidrogenase (GDH), que faz parte de uma rota alternativa e realiza a catálise reversível da aminação do glutamato (SHAN et al., 2012).

Estudos vem mostrando que a adubação nitrogenada além de suprir as necessidades fisiológicas das culturas agrícolas, pode atenuar os efeitos deletérios da salinidade no solo (NOBRE et al., 2013; FEIJÃO et al., 2013). Isso acontece devido a elevação de N no solo, promovendo uma maior acumulação de compostos orgânicos nitrogenados, que realizam importante papel no balanço osmótico celular, além de estabilizar estruturas subcelulares sob condições de estresse salino (PARIDA; DAS, 2005).

Devido a assimilação do nitrogênio serem feitas nas formas de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+) pelas plantas, a adubação com fertilizante nitrogenado é muito importante para os solos, principalmente em solos salinos onde o nitrogênio pode atenuar os impactos da salinidade no desenvolvimento das plantas. Esse fato pode ocorrer por consequência dos íons nitrato (NO_3^-) e o cloreto (Cl^-) serem antagônicos, de modo que em altas concentrações, o íon Cl^- torna-se prejudicial ao metabolismo das plantas, dependendo da espécie vegetal, nível de salinidade ou condições ambientais (FLORES et al., 2001; LARCHER 2006; CARVALHO; ZABOT, 2012; ORESCA, 2018).

3.4 Salinidade de solos e águas

Atualmente a salinidade é um dos fatores de maior preocupação para a agricultura, podendo ser ocasionada pelo uso inadequado de fertilizantes e o mau manejo de irrigação nos cultivos agrícolas, fatores que tem exercido forte influência na degradação dos solos pela salinidade (SCHOSSLER et al., 2012).

Os solos salinos se originam a partir da acumulação dos sais solúveis Na^+ , Ca_2^+ , Mg_2^+ e K^+ nos horizontes do solo. Os sais mais encontrados nos solos salinos são: Na^+ , Ca_2^+ e Mg_2^+ , porém os nitratos e carbonatos possuem menores concentrações. Salientando que devido as altas concentrações de sais e pela menor concentração de Na^+ , estes solos salinos não possuem grandes limitações e são flocculados, devido a permeabilidade. A formação dos solos salinos-sódicos acontece quando os valores da Porcentagem de Sódio Trocável (PST) são iguais ou superiores a 15% e a condutividade elétrica (CE) apresente valores $\geq 4,0\text{dS.m}^{-1}$. O processo de formação dos solos sódicos se origina a partir da solonização, que possui duas etapas: sodificação e dessalinização. A primeira etapa é a sodificação, que através da passagem do íon Na^+ dos horizontes do solo para o complexo de troca, inicia-se a formação dos solos salinos-sódicos; A dessalinização é a etapa que encerra esse processo de formação, nesta, ocorre a lavagem dos sais solúveis, originando solos exclusivamente sódicos. (RIBEIRO et al., 2003; RIBEIRO, 2010; PEDROTTI et al., 2015)

A salinização é dividida em dois tipos, sendo a salinização primária e secundária. A salinização primária diz respeito à ocorrência natural do processo de salinização, ela se dá a partir dos baixos índices de precipitação pluviométricos, alta evaporação e acréscimo gradual de íons provenientes do intemperismo. Já a secundária é originada de processos antrópicos como manejo de irrigação inadequado, geralmente com águas com alta concentração de sais, acompanhadas ou não de uma drenagem insuficiente (WILLIAMS, 1987; SILVA et al.,

2018), visto que a toda água utilizada possui sais dissolvidos e elementos químicos que favorecem este processo (SANTANA et al., 2003).

Em grande parte das ocasiões, devido à escassez de água de boa qualidade para irrigação, a água salina é a única opção, fazendo necessário seu uso ser realizado de forma adequada e o utilizando espécies mais tolerantes a sais. (FREITAS et al., 2010).

A concentração de sais na água de irrigação é um fator de forte influência para elevar os teores de sais presentes nos horizontes do solo, pois na composição da água pode-se conter em torno de 100 (água boa) a 4.000 kg (água inadequada) de sal para 1.000m³, sendo que é aplicada uma razão média de 12.500 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Caso não exista sistema de drenagem ou ele seja insuficiente, a prática de irrigação poderá adicionar de 1,0 a 60,0 t ha⁻¹ de sais no solo (RHOADES, 1974).

Para o monitoramento da salinidade da água ou no solo, podem ser utilizados dois parâmetros: condutividade elétrica (relação entre os íons presentes na água e a corrente elétrica) e razão de adsorção de sódio (quantidade de sódio em relação a magnésio e cálcio) (SILVA et al., 2018). Levando em consideração esses dois parâmetros, a USDA (United States Department of Agricultural) propôs uma classificação das águas de irrigação quanto sua restrição de uso, anteriormente apresentada por Richards (1954), conforme citado por Silva et al. (2018).

Tabela 1. Classificação da água proposta pelo United States Department of Agricultural (USDA), apresentada por Richards (1954).

Critérios para classificação da água					
Salinidade			Sodicidade		
Classe	Risco	CE (dS m ⁻¹)	Classe	Risco	RAS
C1	B	< 0,25	S1	B	RAS < 18,87 – 4,4 logCE
C2	M	0,25 – 0,75	S2	M	18,87–4,44logCE<RAS<31,31-6,66 logCE
C3	A	0,75 – 2,25	S3	A	31,31-6,66 logCE<RAS<43,75-8,87 logCE
C4	MA	> 2,25	S4	MA	RAS > 43,75 – 8,87 logCE

CE – Condutividade elétrica, RAS – razão de adsorção de sódio, B – baixo, M - média, A – alta, MA – muito alto. Fonte: Silva et al., 2018.

Para manter a produtividade das culturas agrícolas em níveis aceitáveis, várias práticas de manejo para conter os efeitos tóxicos da salinidade podem ser adotados. Dentre elas, a adoção de um sistema de drenagem adequado que faça uma realocação da água salina para locais apropriados; a lixiviação por meio de aplicação de uma lâmina de irrigação acima da

exigência da cultura na zona radicular, com a finalidade de remover o excesso de sais; o uso de culturas tolerantes a elevados níveis de salinidade que tenham uma produtividade aceitável sem que haja perdas econômicas; além de práticas de nivelamento do solo, programação das irrigações, locais de semeaduras, fertilização adequada, escolha do método de irrigação, melhoramento do solo e a mistura e/ou substituição da água de má qualidade e boa qualidade (SILVA et al., 2011).

3.5 Degradação dos solos

O bioma Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, possui clima tropical semiárido e que está presente em nove Estados, totalizando cerca de 800 km², ocupando aproximadamente 10% do território nacional: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e o norte de Minas Gerais (BRASILEIRO, 2009).

Segundo Araújo e Souza (2011), a Caatinga ao se situar no “Polígono das Secas” que compreende ecossistemas vulneráveis à desertificação, devido às condições climáticas, características dos solos, exploração inadequada dos recursos naturais e superpastejo. Os processos antrópicos de extração da vegetação da Caatinga para a produção de carvão vegetal ou agricultura, somado as mudanças climáticas fazem do Nordeste uma região bastante propícia a enfrentar um processo acelerado de desertificação (NOBRE, 2011).

Segundo Araújo (2011), os solos da região são rasos ou contém pouca profundidade, assim apresentam baixa capacidade de permeabilidade e de retenção de água. A desertificação já é considerada um problema a nível mundial que assola várias áreas do planeta, inclusive no Brasil, onde a região semiárida é a principal área afetada por este processo (PEREZ-MARIN et al., 2012).

Em 1977, Vasconcelos em parceria com a SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste,) foram pioneiros no estudo da desertificação no país. Nestes estudos, foram selecionadas de forma empírica seis áreas piloto (i.e., Estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte) onde o processo de degradação dos solos e da cobertura vegetal estava em curso (SILVA; SILVA, 2015). O Ministério do Meio Ambiente selecionou e recrutou pesquisadores para fazer visitas de campos a estas áreas onde foram definidos quatro núcleos de desertificação nas seguintes cidades: Cabrobó-PE, Gilbués-PI, Irauçuba-CE e Seridó-RN abrangendo uma área de 18.740 km² (SOARES, 2012; SILVA; SILVA, 2015). Nestas áreas foi constatado que o principal fator para o processo de desertificação foram as ações antrópicas, com a substituição da Caatinga por agricultura,

pecuária, extração de argila de solos aluviais e a remoção da madeira para lenha (CAMPELLO, 2007).

Devido à necessidade crescente de uma maior produção de alimentos como consequência ao crescimento demográfico e, conseqüentemente da demanda por alimento, a prática de irrigação em regiões áridas e semiáridas para ampliar as áreas agricultáveis tem-se desenvolvido cada vez mais (MACHADO et al., 2007).

Em locais de clima semiárido é corriqueira a ocorrência de solos com elevadas concentrações de sais, sendo que boa parte deles se apresentam salinizados independente de ações antrópicas, ou seja, são salinos por natureza. Entretanto, o uso de sistemas de irrigação, apesar de seus benefícios, quando mal-empregados pode provocar o surgimento de diversos problemas, entre eles, a salinização dos solos (MACHADO et al., 2007).

A salinização tem agravado bastante o quadro de degradação dos solos do semiárido. Em algumas áreas, são visíveis as manchas brancas na superfície (BRASILEIRO, 2009). “A salinização é um processo que ocorre basicamente pelo acúmulo de sais solúveis e/ou sódio trocável no complexo de troca do solo” (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005). Ainda de acordo com Brasileiro (2009) a suscetibilidade dos solos à salinização dependerá da água que utilizada na irrigação de lavouras, como também dos tipos e perfis de solos predominantes.

3.6 Impactos da salinidade na agricultura

Segundo Paulino et al., (2011) a irrigação é um dos principais fatores responsáveis pelo aumento da produtividade das culturas agrícolas e corresponde a produção de 40% dos alimentos produzidos. Segundo a ANA (2021), o Brasil possui uma área total irrigada de 8,2 milhões de ha, sendo que a cada hectare irrigado no país equivale a três hectares de sequeiro em produtividade física e a sete em produtividade econômica (PAULINO et al., 2011).

A agricultura irrigada nas regiões semiáridas é utilizada demasiadamente nos períodos secos, quando a demanda hídrica elevada e escassez das chuvas limitam o fornecimento de água aos cultivos (FONTES JÚNIOR et al., 2012). Em contrapartida a seus benefícios, a agricultura irrigada é um dos principais fatores responsáveis pela salinização dos solos em todo o planeta, afetando diretamente a germinação, a densidade e o desenvolvimento vegetativo das culturas, além de reduzir suas produtividades e, nas ocorrências mais graves, promover a senescência das plantas (LIMA JUNIOR; SILVA, 2010).

A disponibilidade de água doce para irrigação vem diminuindo consideravelmente devido a crescente competição com o desenvolvimento urbano e industrial, de tal maneira que o uso de água de qualidade inferior para irrigação vem se tornando um desafio (OLIVEIRA et

al., 2011). Tem-se buscado várias alternativas que possibilitem o uso da água salina na agricultura irrigada, dentre essas estratégias avaliadas, pode-se citar: o uso de espécies halófitas forrageiras ou leguminosas, maior eficiência no manejo do solo, rotação de culturas, irrigação com misturas de águas de diferentes concentrações salinas (SILVA et al., 2008).

A salinidade é um problema frequente em regiões áridas e semiáridas, devido a fatores antrópicos e ambientais (i.e. a baixa e irregular precipitação pluvial, temperaturas do ar elevadas, drenagem deficiente e a utilização inadequada de água com elevados teores de sais para irrigação) que acaba favorecendo o acúmulo de sais no solo (HOLANDA et al., 2007).

Os impactos negativos originados pela salinidade estão diretamente relacionados ao crescimento e rendimento das plantas e, em casos mais extremos, na morte da planta. Além disso, a salinidade pode afetar a estrutura do solo devido à absorção de altos teores de sódio presentes nestas águas de irrigação, promovendo a dispersão das frações de argila e desta forma diminuindo a permeabilidade do solo (LIMA JUNIOR; SILVA, 2010).

Algumas culturas conseguem produzir satisfatoriamente em ambientes salinos devido a possuírem melhores capacidades de adaptação osmótica. Essa característica de adaptação osmótica é importante, pois permite a seleção de culturas mais tolerantes à salinidade, capazes de conseguir rendimentos economicamente aceitáveis, quando não é possível manter a salinidade do solo abaixo do nível tolerado pelas plantas mais tradicionalmente exploradas (LIMA JUNIOR; SILVA, 2010).

O teor máximo de salinidade que uma planta que pode tolerar sem impactar negativamente o seu desenvolvimento, é chamada de salinidade limiar (SL) (MAAS; HOFFMAN, 1977). A salinidade limiar é expressa em condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), sendo que neste nível de salinidade o rendimento da cultura é 100% (MEDEIROS et al., 2012). Todas as culturas possuem um nível de salinidade limite, que ao ser extrapolado, pode causar perdas de produtividade proporcionalmente ao aumento da salinidade (SILVA DIAS et al., 2005).

A salinidade induz três restrições nas plantas: efeito osmótico devido ao menor potencial osmótico da água no solo, efeito iônico resultado da toxicidade direta de íons e no desequilíbrio iônico das plantas, originando várias alterações fisiológicas e o efeito oxidativo que advém da redução da taxa fotossintética, acumulando espécies reativas de oxigênio ativo (MUNNS; TESTER, 2008). Essas restrições implicam em menor absorção de água e nutrientes (MODESTO et al., 2019).

Na palma forrageira, Felix et al. (2018) testaram diferentes níveis de salinidade na Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e concluíram que o crescimento,

altura e a largura da planta foram impactados nos maiores níveis de salinidade, sendo que o tratamento com $1,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (S1) foi o que apresentou as plantas mais desenvolvidas em relação aos outros tratamentos (S2=3,0; S3=4,5 e S4= 6,00 dS m^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$). Santos et al. (2020) ao submeterem a palma forrageira Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) a eventos de irrigação com água salina, verificaram que crescimento da planta foi comprometido, todavia, os mesmos ressaltam ainda que a utilização de irrigação com teores médios de condutividade elétrica e bom manejo de irrigação possibilita a obtenção de níveis satisfatórios de matéria seca. Freire et al. (2018) estudaram o efeito da salinidade no clone Miúda (*Nopalea cochenilifera* Salm-Dyck) e verificaram uma correlação negativa entre o níveis de salinidade e as variáveis de crescimento e produtividade, enfatizando a susceptibilidade desta espécie.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Características e local da área experimental

O estudo foi realizado de março de 2019 a março de 2020 no “*Centro de Referência Internacional de Estudos de Agrometeorologia de Palma e outras Plantas Forrageiras*”, localizado nas mediações da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) - Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) (Latitude: $7^\circ56'20''$ Sul; Longitude: $38^\circ17'31''$ Oeste; Altitude: 499 m acima do nível do mar) em Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (Figura 1).

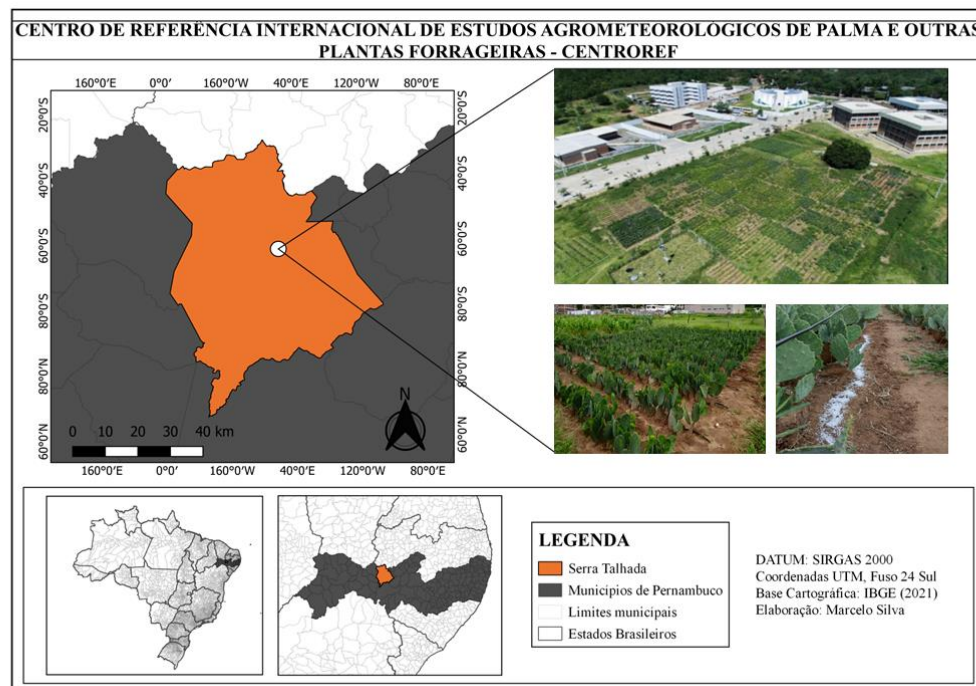


Figura 1. Localização do experimento com palma forrageira, cultivada no *Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas*

Forrageiras (UFRPE/UAST), município de Serra Talhada-PE, Semiárido brasileiro.

O município de Serra Talhada-PE, apresenta clima do tipo BSw^h (clima semiárido com invernos secos e verões chuvosos) segundo a classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2013). A temperatura do ar varia de 20,1 a 32,9 °C, para mínimas e máximas, respectivamente; umidade relativa do ar de 63%; precipitação pluviométrica média por ano de 642 mm; demanda atmosférica superior a 1.800 mm por ano e insolação média de 2.800 horas por ano (MOURA; ANGELOTTI, 2008; PEREIRA et al., 2015; SILVA et al., 2015).

As condições meteorológicas durante o período experimental estão expostas na Figura 2, onde a temperatura ($T_{méd}$, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) apresentaram valores médios em torno de 26°C e 58%, respectivamente. Enquanto a demanda atmosférica acumulada (E_{To} , mm) e entrada de água no sistema, representada pela soma entre precipitação pluviométrica (P , mm) e lâmina de irrigação aplicada (LI , mm), foram de 1905,2 mm e 1473,8 mm ($P = 1145,6$ mm e $LI = 328,2$ mm), respectivamente.

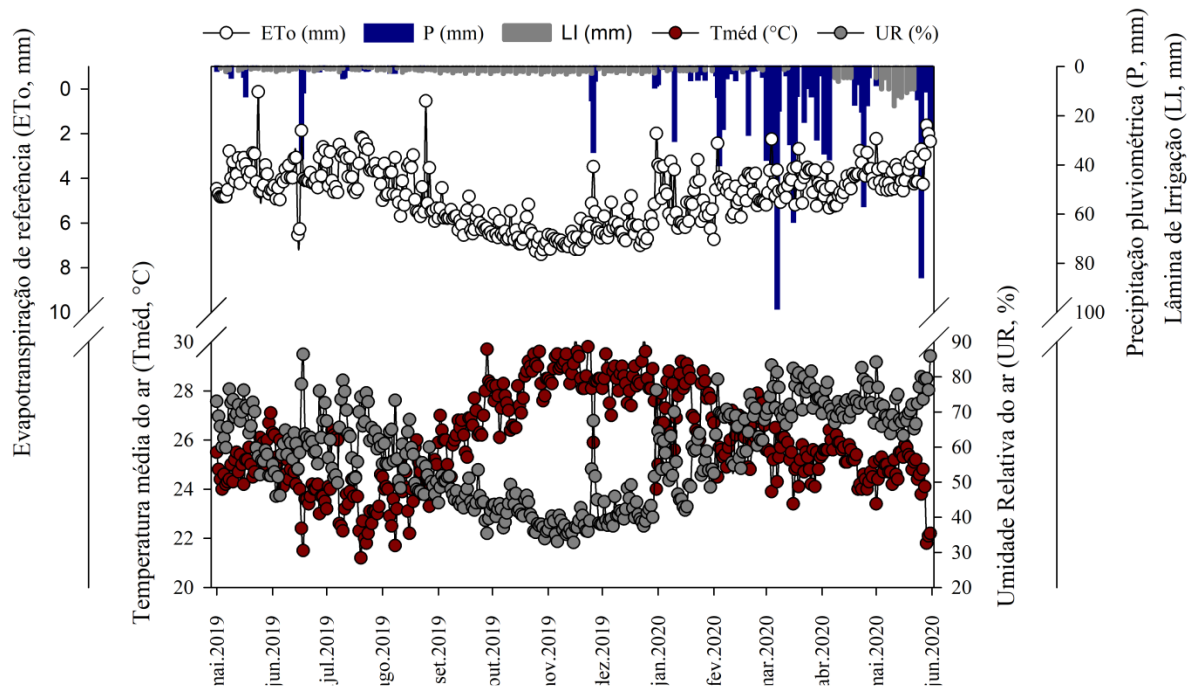


Figura 2. Evapotranspiração de referência (ET_o), temperatura média do ar (T_{méd}), umidade relativa do ar (UR), precipitação pluviométrica (P) e lâmina de irrigação (LI) em área cultivada com palma forrageira, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020, em Serra Talhada – PE. Fonte: INMET.

O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico (SANTOS et al., 2018), estando suas características físicas e químicas descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades físicas e químicas do Cambissolo Háplico da área experimental em Serra Talhada-PE.

Propriedades físicas										
Prof.	pd	Ø	Areia	Silte	Argila					
cm	kg dm ⁻³	%		g kg ⁻¹	g kg ⁻¹					
0-20	1,45	42,27	828,60	148,30	23,2					
20-40	1,34	46,76	795,40	160,10	44,6					
Propriedades químicas										
Prof	C.E.	pH	C	P	K	NA	CA	MG	CTC	V
cm	mS cm ⁻¹		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³			%
0-20	0,33	6,00	4,60	168,90	13,80	1,09	3,50	1,90	20,9	97,2
20-40	0,24	6,30	3,00	154,10	11,80	1,47	2,90	1,75	18,3	98,7

Prof.: profundidade. pd: densidade do solo. Ø: porosidade total. C.E.: condutividade elétrica do extrato de saturação. CTC: capacidade de troca de cátions. V: saturação de bases.

Antes da instalação da área experimental foi realizado o preparo inicial do solo com aração, gradagem e sulcagem. Em 14 de outubro de 2018, os cladódios espalhados e plantados em alinhamento dominó com 50% da sua extremidade inferior enterradas no solo. Após o período de plantio foi dado um tempo de estabilização da cultura para aplicação do tratamento.

4.2 Cultura, delineamento e tratamentos

O material vegetal utilizado foi o clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), que possui boa adaptação a região semiárida e também é resistente à Cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929;

Hemiptera: Dactylopiidae) que é considerada a principal praga da palma no Nordeste (DUTRA et al., 2020).

O delineamento estatístico utilizado no experimento foi um DBC (Delineamento em Blocos Casualizados), com 4 tratamentos e 4 repetições. Antes da aplicação dos níveis de tratamento foi feita uma adução de fundação de 50 kg ha⁻¹ de N. O espaçamento entre as plantas foi de 0,20 m e entre fileiras de cultivo foi de 1,25 m, totalizando 40.000 plantas ha⁻¹. Cada parcela experimental tinha 15 m², sendo composta por quatro fileiras de cultivo, com 3 metros de comprimento cada e totalizando 60 unidades experimentais. As fileiras centrais de cada parcela, foram consideradas úteis, com exceção das duas plantas da extremidade de cada fileira.

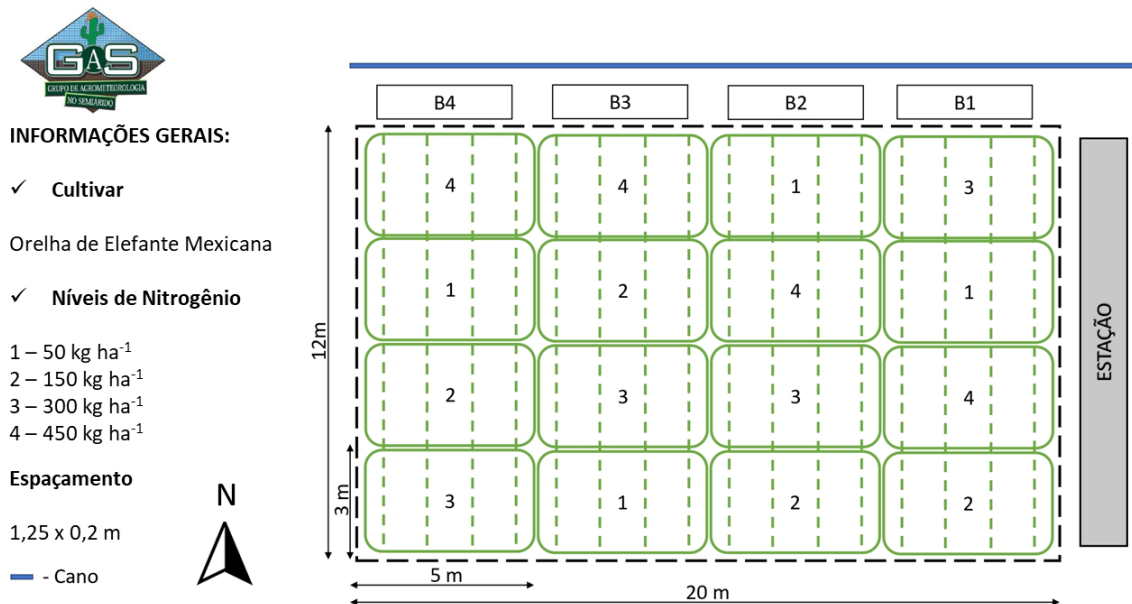


Figura 3. Croqui da área experimental

A aplicação dos níveis de nitrogênio foi feita em março de 2019, por meio de sulcos situados a aproximadamente 0,25 m de distância da palma forrageira. Os níveis de nitrogênio foram os seguintes: 0, 150, 300 e 450 kg ha⁻¹. Para aplicação do nitrogênio utilizou-se a ureia. Além do nitrogênio foram aplicadas as seguintes doses de fósforo e potássio 60 kg ha⁻¹ de e 97,5 kg ha⁻¹, respectivamente, em todos os tratamentos de acordo com a recomendação do IPA.

Para tanto, foram utilizados aproximadamente 0, 326,09, 652,17 e 978,26 kg ha⁻¹ de Ureia (46% de N), que representaram os níveis 0; 150; 300 e 450 kg há⁻¹ de N, respectivamente. Juntamente a aplicação do nitrogênio, mediante recomendação, também foram realizadas aplicações de 333,33 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P) e 162,50 kg

ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% de K). Após isso, os sulcos foram cobertos com solo e foi realizado um evento de irrigação com duração de 20 minutos para diminuir a perda de nitrogênio para atmosfera através do processo de volatilização.

4.3 Manejo cultural e de irrigação

A área experimental foi irrigada por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, com vazão de 1,75 L h⁻¹, coeficiente de uniformização de 94% a uma pressão de trabalho de 100 kPa. A aplicação das lâminas de irrigação foi realizada em três vezes por semana (nas segundas, quartas e sextas-feiras). A reposição de água foi determinada pela evapotranspiração da cultura (ET_c), onde, foram utilizados os dados diários de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que fica localizada a 20 m da área experimental. Para obtenção da ET_c (Equação 1), dados diários da evapotranspiração de referência (ET₀) determinados pelo método de Penman-Monteith (Equação 2), conforme os parâmetros estabelecidos pelo Boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998), foram relacionados ao coeficiente médio da cultura (K_c) da palma forrageira (0,52) sugerido por Queiroz et al. (2016).

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad \text{Equação 1}$$

em que, ET_c = evapotranspiração da cultura (mm); K_c = coeficiente da cultura; e ET₀ = evapotranspiração de referência, em mm.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{Equação 2}$$

em que, ET₀ = evapotranspiração de referência (mm); R_n = saldo de radiação à superfície da cultura (MJ m⁻²); G = densidade do fluxo de calor do solo (MJ m⁻²); T = temperatura do ar a 2 m de altura (°C); u₂ = velocidade de vento a 2 m de altura (m S⁻¹); e_s = pressão de vapor de saturação (kPa); e_a = pressão parcial de vapor (kPa); e_s - e_a = déficit de pressão de vapor de saturação (kPa); Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação temperatura T (kPa °C⁻¹); e γ = coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

A água utilizada na irrigação foi proveniente de um poço artesiano que fica localizado próximo da área experimental, a qual apresenta condutividade elétrica de 1,62 dS.m⁻¹, que

segundo a classificação de Richards (1954), pode ser considerada como uma água de alta salinidade do tipo C3.

Os tratos culturais, como o controle de pragas, doenças e ervas daninhas, foram realizados sempre que necessário a fim de manter o pleno desenvolvimento das culturas.

4.4 Análise biométrica e de biomassa da palma forrageira

As análises biométricas foram realizadas ao final do experimento. Para isto, foi escolhido uma planta representativa, por parcela, totalizando quatro plantas por tratamento. As variáveis de crescimento obtidas foram: altura de planta (AP (cm) - superfície do solo até o cladódio no ápice da planta), largura do dossel da planta (LP (cm) média de duas medidas cruzadas das extremidades laterais de cladódios por planta (NTC) - nas suas respectivas ordens de inserção na planta), as quais foram mensuradas com auxílio de fita métrica e paquímetro.

Ao final do experimento, foram realizados eventos de biomassas para obtenção da massa fresca e a massa seca com o objetivo de quantificar a produtividade da palma ao final do ciclo. Na ocasião, foram contadas e pesadas todas as plantas da parcela útil, deixando no campo apenas os cladódios primários. De posse desses dados, realizou-se a estimativa do rendimento de massa fresca, levando em consideração o peso fresco total das plantas e a densidade final. Em seguida, dois cladódios representativos do terço médio foram pesados com o auxílio de uma balança eletrônica. Os dois cladódios foram fracionados e acondicionados em sacos de papel e levados para uma estufa de circulação de ar forçada, a 55 °C até alcançar o peso seco constante. A partir da relação entre o peso fresco e seco dos cladódios selecionado, foi obtido os teores de matéria seca. De posse desses dados realizou-se a estimativa do rendimento de massa seca, considerando a estimativa da massa fresca e os teores de matéria seca.

De posse dos dados, os mesmos foram submetidos no software RStudio (R Core Team, 2018) a análise de variância (ANOVA) a 5 %, teste de normalidade (shapiro-wilk), homoscedasticidade e análise de regressão. Após a análise de regressão, realizou-se a derivada do modelo encontrado para cada variável estudada, a fim de determinar a dose que proporcione os melhores resultados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da adubação nitrogenada foi semelhante para todas as variáveis analisadas (i.e., altura, largura, número total de cladódios, produtividade de matéria fresca e seca),

havendo influência positiva até a dose de 300 kg ha⁻¹ com decréscimo para dose de 450 kg ha⁻¹.

Segundo Marschner (2012) o nitrogênio é um nutriente que estimula a divisão celular e induz a emissão de novos cladódios, promove alterações na morfologia das plantas e, em condições de elevado suprimento de N, ocorrem maior crescimento e aumento na área foliar. Entretanto, em condições de excesso de nitrogênio a planta comumente vegeta muito e armazenar menos carboidratos do que em condições normais. Além disso a toxidez por excesso de nitrogênio prejudica a absorção de outros nutrientes disponíveis pelo solo, devido ao excesso de um nutriente induzir a deficiência de outro (CORRER, 2015).

Na Figura 2, a variável largura da planta (cm) apresentou resposta quadrática positiva à adubação nitrogenada, sendo a dose de 300 kg ha⁻¹ a que obteve melhor desempenho com médias de 72,76 cm e ótima resposta até 336,25 kg ha⁻¹ de N. A aplicação de N proporcionou um incremento em torno de 15 cm em relação a menor dose aplicada. Tal resultado pode ser explicado devido ao papel que o nitrogênio exerce na palma, atuando no surgimento de novos cladódios. Mesmo o clone OEM possuindo hábito de crescimento ereto e semiaberto que favorecem a emissão da maioria dos cladódios no ápice do cladódio basal, dificultando a emissão de cladódios laterais, como relatado por Silva et al. (2010), o nitrogênio proporcionou melhor distribuição no surgimento dos cladódios o que pode ter feito com que a largura das plantas quando adubadas tenham tido um melhor desenvolvimento.

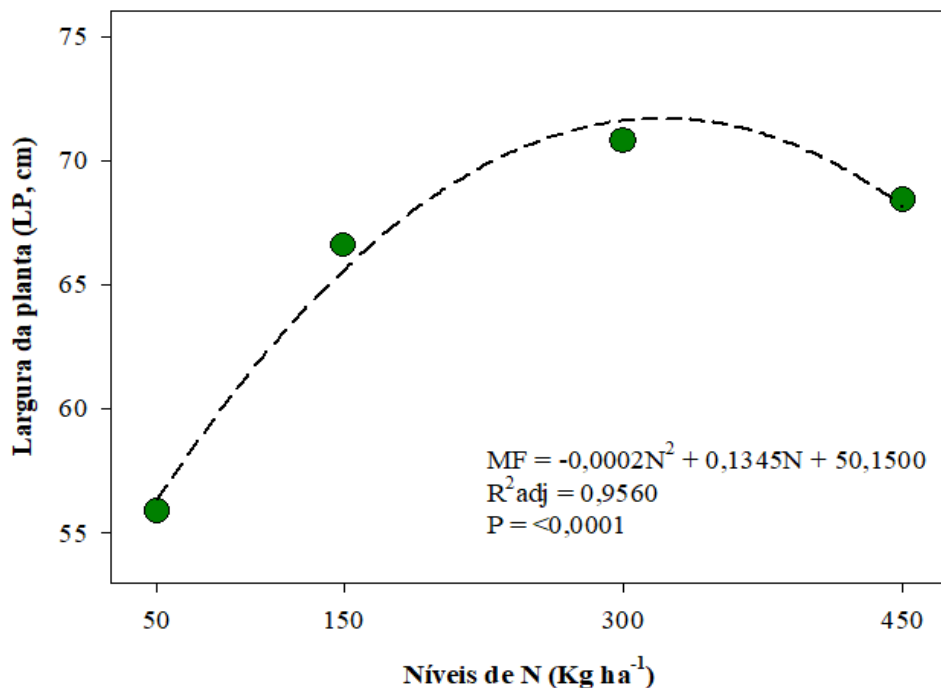


Figura 4. Largura das plantas de palma forrageira (cm) Orelha de Elefante Mexicana,

cultivadas com aplicação de níveis de nitrogênio e irrigada com água salina, em Serra Talhada - PE, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020.

Em experimento realizado para avaliar o cultivo do clone de Orelha de Elefante Mexicana com diferentes doses de águas salinas em Campina Grande-PB, Felix et al. (2018) constataram que os maiores valores médios da largura das plantas (40 cm) em 90 DAP, foram obtidos pelo segundo tratamento (S2 - 3,0 dS.m⁻¹), porém aos 120 dias após o plantio (DAP) o primeiro tratamento (S1 - 1,5 dS.m⁻¹) praticamente o igualou e a 150 DAP o ultrapassou com média entorno de 62 cm contra 52 do tratamento S2. Ainda segundo os autores, o quarto tratamento (S4 - 6,0 dS.m⁻¹) apresentou as menores média de largura (entorno de 30, 42 e 45 cm em 90, 120 e 150 DAP respectivamente), constatando assim que as maiores concentrações de sais afetam o desenvolvimento da largura da planta.

Silva et al. (2015), em estudo com clones de palma forrageira no semiárido em condições de sequeiro e com adubação nitrogenada (dose de 130 kg ha⁻¹), durante um ciclo de 745 dias, obtiveram médias de largura nas plantas de OEM na magnitude de 101,78 cm, tal dado é maior do que o do presente estudo, porém isso deve-se ao ciclo do experimento maior e do espaçamento entre linhas adotados (1,6 x 0,2 m; densidade de 31.250 plantas por hectare) que é menos adensado do que o deste estudo. Segundo a literatura, o dossel da palma forrageira responde de forma linear negativa ao aumento da densidade de plantas, tendo em vista que o pouco espaço disponível gera a sobreposição dos cladódios limitando o desenvolvimento dos mesmo (CAVALCANTE et al., 2014; SILVA et al., 2014).

Os estudos que analisam o efeito da salinidade da água de irrigação e/ou adubação nitrogenada em relação a variável largura da planta para a palma forrageira, ainda são escassos sendo necessários mais estudos que definam suas reais influências.

Em relação as alturas das plantas (Figura 3), também apresentou comportamento quadrático positivo com as doses aplicadas. A cultura obteve ótima resposta a adubação de nitrogenada até 284,83 kg ha⁻¹ de N, com valor médio de altura da planta igual de 88,39 cm. A melhor dose de N (300 kg ha⁻¹) proporcionou aumento em torno de 16% em relação a dose mínima do modelo (50 kg ha⁻¹). Tal resultado pode ser explicado devido ao nitrogênio ser o nutriente com maior influência no crescimento da palma forrageira, pois o N promove alterações na morfologia da planta e em condições de elevadas ofertas, há maior crescimento (BARROS et al., 2016; DONATO et al., 2014; SILVA et al 2012). Esse fato pode justificar a

maior altura e largura das plantas que receberam adubação nitrogenada (DANTAS NETO et al., 2020).

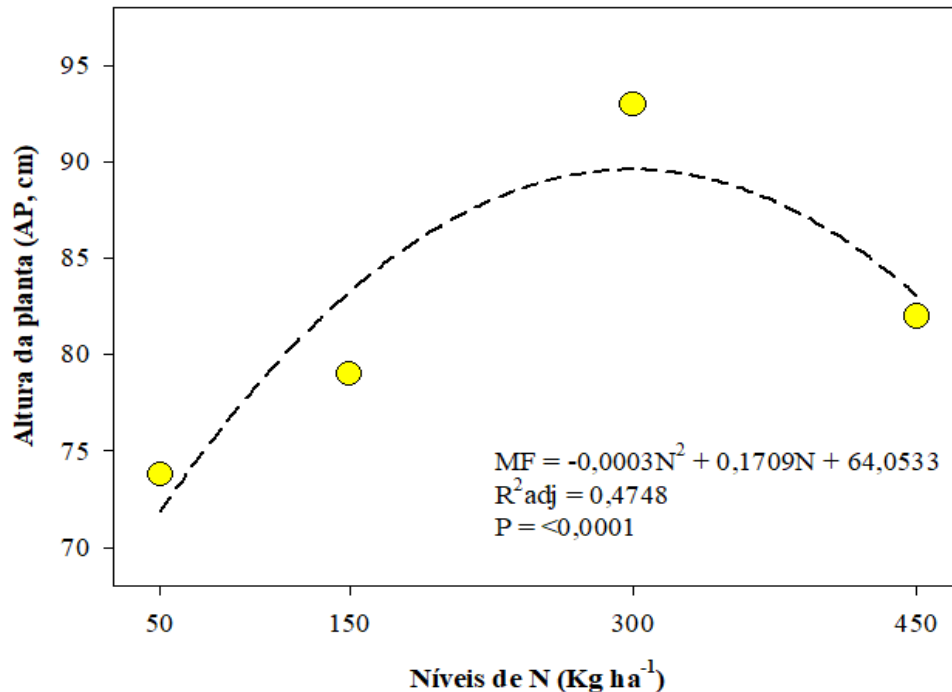


Figura 5. Altura das plantas de palma forrageira (cm) Orelha de Elefante Mexicana, cultivadas com aplicação de níveis de nitrogênio e irrigada com água salina, em Serra Talhada - PE, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020.

Segundo Rocha et al. (2017), plantas forrageiras em cultivos de alta densidade podem usar como alternativas para a competição de nutrientes e luz, o aumento de sua estatura. Também é relatado na literatura que a aplicação de fertilizantes melhora a disponibilidade e transporte de nutrientes no solo, como também a absorção pelas plantas interferindo no seu crescimento (SOARES; ALBUQUERQUE; SILVA, 2021).

Resultado semelhante foram relatados por Rego et al. (2014), em estudo para avaliar os efeitos da adubação com esterco bovino e intensidade de corte sobre as características morfofisiológicas e produtivas da palma miúda, verificaram que mesmo a palma sendo irrigada com água de alta salinidade (5,25 dS.m⁻¹), houve aumento linear nas alturas das plantas quando o corte preservava o cladódio mãe ou os cladódios de primeira ordem, em relação ao aumento das doses de adubação orgânica (20, 40 e 60 Mg ha⁻¹) que continham 1,99% de N e também com uma adubação química complementar de aproximadamente 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Para o número total de cladódios (NTC) na Figura 4, novamente o nitrogênio promoveu efeito quadrático positivo, com resposta de aumento até a dose de 300 kg ha⁻¹, respondendo bem a adubação nitrogenada até 383,00 kg ha⁻¹, proporcionando médias de 22 unidades de cladódios por planta. Quando comparadas as médias dos modelos para a melhor e a pior dose em relação ao NTC, é possível verificar que a adubação nitrogenada promoveu incremento de aproximadamente 50% em relação a maior e menor dose. Além disso, é possível observar que não houve diferença expressiva entre as doses de 150, 300 e 450 kg ha⁻¹ de N para o NTC.

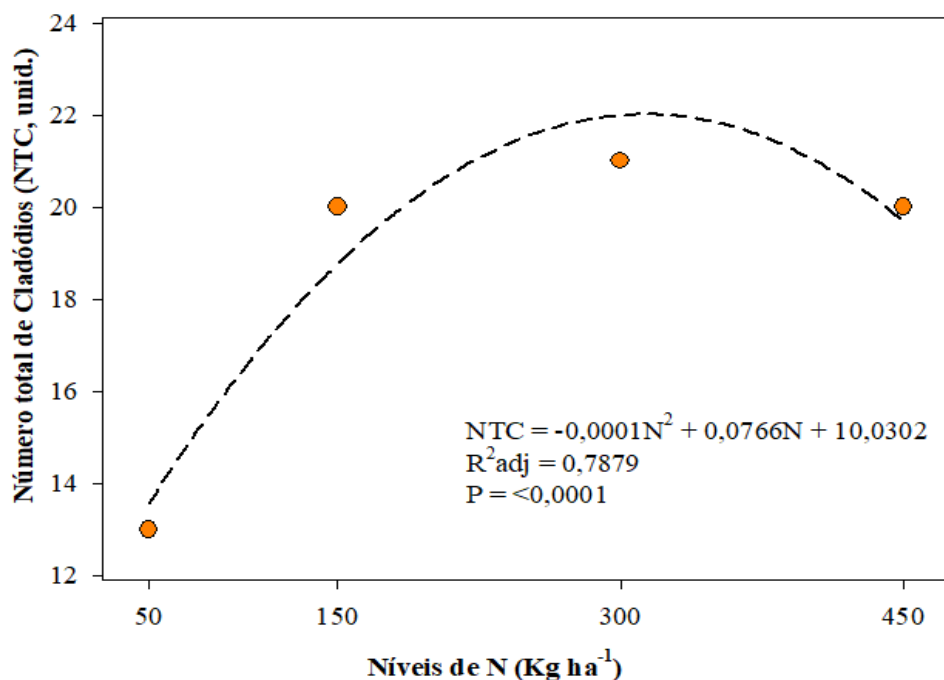


Figura 6. Número total de cladódios da palma forrageira (u) Orelha de Elefante Mexicana, cultivadas com aplicação de níveis de nitrogênio e irrigada com água salina, em Serra Talhada - PE, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020.

Esse resultado é superior ao encontrado por Pereira et al. (2015), que ao avaliar o crescimento de clones de palma forrageira submetidos a irrigação com água salina (1,6 dS.m⁻¹) e adubação de 50 kg ha⁻¹ de NPK (14-0-18), tiveram uma média de 13,5 cladódios para a OEM em 359 dias, corroborando com os resultados obtidos para a dose mínima. Cunha et al. (2012), reportaram que a palma forrageira submetidas a diferentes doses de nitrogênio apresentou efeito linear positivo em relação ao número total de cladódios. Silva et al. (2016) em experimento para analisar a morfologia da palma forrageira sob adubação com NPK,

verificaram que o número total de cladódios saltou de 9 para 15 em plantas não adubadas e adubadas, respectivamente.

Esses comportamentos podem ser explicados devido o nitrogênio ser um nutriente que estimula a divisão celular e por sua vez promove o surgimento de novos cladódios (CUNHA et al., 2012; SILVA et al., 2010).

A massa fresca do clone Orelha de elefante Mexicana também apresentou comportamento quadrático positivo a adubação nitrogenada. A cultura respondeu bem até 290,05 kg ha⁻¹ de nitrogênio e alcançou a média de 310,10 Mg ha⁻¹ de MF na dose de 300 kg ha⁻¹ de N. Isso significa um incremento em torno de 155 Mg ha⁻¹ (100%) quando comparado com a menor dose (50 kg ha⁻¹ de N - 155 Mg ha⁻¹ de MF). Esses resultados corroboram com os obtidos por Dantas Neto et al. (2020) que verificaram maior produtividade na palma forrageira OEM submetidas a adubação nitrogenada.

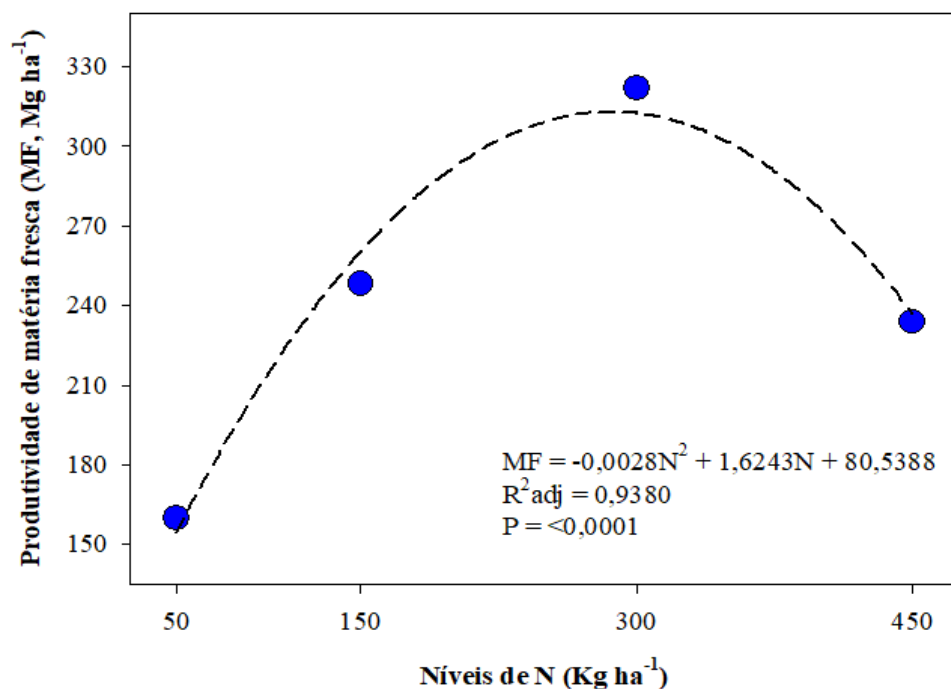


Figura 7. Produtividade de matéria fresca da palma forrageira (Mg ha⁻¹) Orelha de Elefante Mexicana, cultivadas com aplicação de níveis de nitrogênio e irrigada com água salina, em Serra Talhada - PE, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020.

O valor médio encontrado para o clone Orelha de Elefante Mexicana (310,10 Mg ha⁻¹) é parecido ao encontrado por Araújo Junior et al. (2021), que alcançou média de 312 Mg ha⁻¹ para a OEM em plantio irrigado com água salina do tipo C3, com aplicação de NPK e duração

do experimento de 547 dias. O desempenho obtido pelos autores foi praticamente alcançado em 365 dias do presente estudo, isso deve-se ao fato de uma maior dose aplicada de nitrogênio o qual segundo Cunha et al. (2012), as plantas tendem a aumentar o número de cladódios, à medida que se eleva a quantidade de nitrogênio e isso conseqüentemente tem influência sobre o desenvolvimento dos mesmo. Além disso, o nitrogênio participa de várias atividades metabólica voltadas a sobrevivência da cultura, especialmente na produção, no aumento da área foliar e maior eficiência na interceptação luminosa da planta quando aplicado maiores doses de nitrogênio (ALVES et al., 2021).

A palma forrageira possui alto potencial de produção de massa fresca, entretanto para que a planta expresse esse potencial de produtividade faz se necessário um uso adequado e eficiente do manejo de adubação no solo (DANTAS NETO et al., 2020).

Lima et al. (2018) reportam que o clone Orelha de Elefante Mexicana não apresentou redução de produtividade em virtude da irrigação com água salina igual a $1,6 \text{ dS.m}^{-1}$, valor igual ao do presente estudo. Já Fonseca et al. (2019) concluíram que o uso de água salina ($3,6 \text{ dS.m}^{-1}$) na irrigação da palma forrageira cultivar Gigante (*Opuntia*) não ocasionou estresse na planta. Diferentemente do gênero *Opuntia*, a cultivar Miúda do gênero *Nopalea* apresentou redução em sua produtividade quando realizadas irrigações com água de $3,6 \text{ dS.m}^{-1}$ (FREIRE et al., 2018). Segundo Santos et al. (2021) a palma forrageira não apresenta prejuízo em relação a produtividade quando irrigada com água salina até $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$.

O comportamento do rendimento de massa seca também apresentou comportamento semelhante aos da massa fresca, onde se percebe um efeito quadrático positivo, com maiores valores para a dose de $276,75 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, com valor médio de $23,01 \text{ Mg ha}^{-1}$. A diferenças entre a maior dose que foi a de 300 kg ha^{-1} de nitrogênio em relação ao tratamento referência foi em torno 100% de produtividade da MS. Como a produção de matéria fresca é proporcional a matéria seca (5-15% MS) (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021; DUBEUX JÚNIOR et al., 2021). É possível assim afirmar que o nitrogênio ao atuar diretamente no surgimento dos novos cladódios, ele ocasiona melhor desenvolvimento da planta em termos de matéria fresca, conseqüentemente em maiores teores de matéria seca em relação a menor dose.

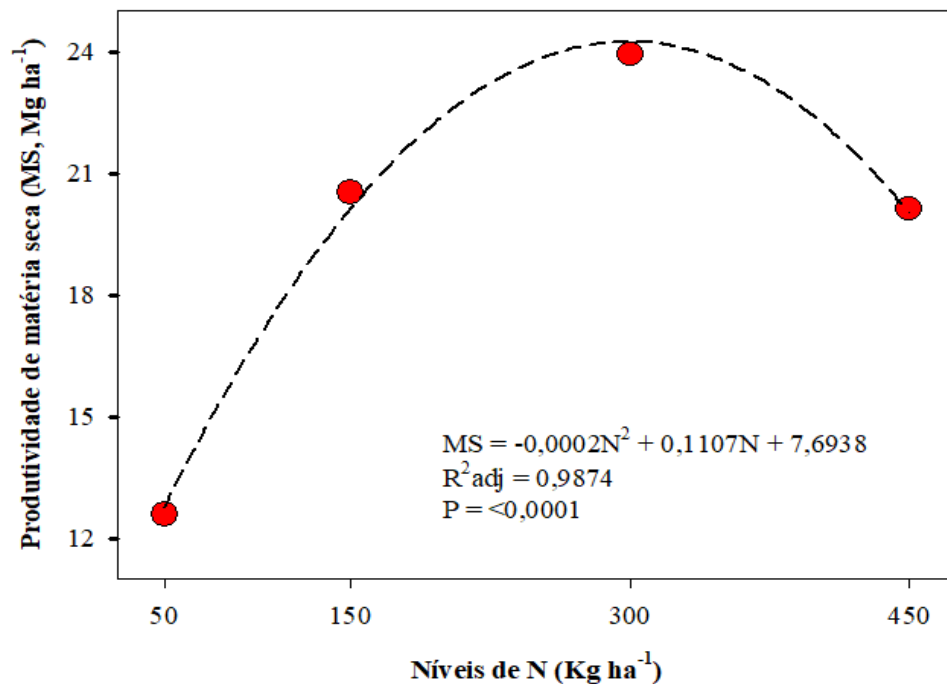


Figura 8. Produtividade de matéria seca da palma forrageira (Mg ha⁻¹) Orelha de Elefante Mexicana, cultivadas com aplicação de níveis de nitrogênio e irrigada com água salina, em Serra Talhada - PE, durante o período de outubro de 2018 a março de 2020.

Araújo Junior et al. (2021) obtiveram produtividade maior de MS (31,00 Mg ha⁻¹) em 567 dias de cultivo em relação ao presente trabalho, porém isso é uma consequência do maior tempo de cultivo, fazendo com que as plantas tivessem um maior desenvolvimento de MS. Logo, sabe-se que o teor de matéria seca nos tecidos dos cladódios de palma forrageira varia de acordo com a idade tanto das plantas como dos cladódios, onde os cladódios mais novos possuem menores teores de matéria seca em relação aos cladódios mais velhos (DONATO et al., 2014).

6. CONCLUSÕES

Para a adubação nitrogenada foram gerados modelos matemáticos de comportamento quadrático positivo para todas as variáveis, sendo seus maiores valores constatados na dose de 300 kg ha⁻¹.

Segundo o modelo as doses que apresentaram melhores respostas foram: 284,83 kg ha⁻¹ para a altura da planta, 336,25 kg ha⁻¹ para a largura da planta, 383,00 kg ha⁻¹ para o número total de cladódio, 290,05 kg ha⁻¹ para matéria fresca e 276,75 kg ha⁻¹ para matéria seca.

Para afirmar que a aplicação de nitrogênio atenua os efeitos deletérios da salinidade, faz-se necessários estudos mais detalhados. Tendo em vista que a literatura é inconclusiva em relação a este tema para a palma forrageira.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, 301 p. 1998. Irrigation and Drainage Paper 56.

ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiárido brasileiro. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 7, n. 4, p. 08-14, 2012.

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

ALVES, C. P. et al. Respostas morfofisiológicas das plantas forrageiras sob manejo de cultivo e pastejo: Uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 6, pág. e10610615405-e10610615405, 2021.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130p.

ANGELOTTI, F.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; SA, I. B. Mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1097-1111, 2011.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N. et al. Phenophases, morphophysiological indices and cutting time in clones of the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. **Journal of Arid Environments**, v. 190, p. 104510, 2021.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N. et al. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. **Bragantia**, v. 80, 2021.

ARAÚJO, C. S. F.; SOUSA, A. N. Estudo do processo de desertificação na caatinga: uma proposta de educação ambiental. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, p. 975-986, 2011.

ARAÚJO, G. J. F. **Análise das certificações agrícolas no Pólo Frutícola Petrolina (PE) / Juazeiro (BA) – Brasil**. Recife, 2011. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco.

BARROS, J. L. et al. Palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia – Agrotec**, v. 7, n. 1, p. 53-65, 2016.

BRASILEIRO, R. S. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, v. 5, n. 5, 055401, 2009.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

CAMPELLO, L. G. B. A política nacional de controle da desertificação e o zoneamento ecológico-econômico. **Revista eletrônica da Faculdade de Direito de Campos**, 2007.

CORRER, A. C. D. **Doses e formas de nitrogênio na nutrição, produção e estresse oxidativo do capim tanzânia**. 2015. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2015.

CARVALHO, M. F. et al. Estudo de caso de três espécies de plantas bioindicadoras de solos salinos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 3, p. 41, 2015.

CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente?. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 6, n. 6, p. 960-974, 2012.

CAVALCANTE, L. A. D. et al. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, p. 424-433, 2014.

CHANGE, IPCC Climate. Mitigation of climate change. **Summary for Policymakers**, v. 10, n. 5.4, 2007.

CUNHA, D. A. et al. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 2, p. 369-386, 2013.

CUNHA, D. N. F. V. et al. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista brasileira de saúde e produção animal**, v. 13, p. 1156-1165, 2012.

DANTAS NETO, J. et al. Growth and yield of cactus pear under irrigation frequencies and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 664-671, 2020.

DIAS, N. S. et al. Produção de alface sob diferentes níveis de salinidade do solo. **Irriga**, v. 10, n. 1, p. 20-29, 2005.

DONATO, P. E. R. et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 151-158, 2014.

DONATO, P. E. R. et al. Valor nutritivo da palma forrageira 'Gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 163-172, 2014.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira-Clone IPA-201. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.

- DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Cactus (Opuntia and Nopalea) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, p. 114890, 2021.
- DUTRA, M. F. B. et al. Aclimatização de genótipos de palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck resistentes a cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*). **HOLOS**, v. 7, p. 1-19, 2020.
- FEIJÃO, A. R. et al. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 10-19, 2013.
- FELIX, E. S. et al. Cultivo de palma forrageira (*Opuntia Stricta*) irrigada com água salinizada. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 6, p. 1869-1875, 2018.
- FLORES, P.; CARVAJAL, M.; CERDA, A.; MARTINEZ, V. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1561-1573, 2001.
- FONSECA, V. A. et al. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, 2019.
- FONTES JÚNIOR, R. V. P. et al. Estabilidade temporal da potenciometria e da salinidade em vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 16, n. 11, 2012.
- FREIRE, J. L. et al. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequencies. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 3893-3900, 2018.
- FREITAS, R. M. O. et al. Efeito da irrigação com água salina na emergência e crescimento inicial de plântulas de jucá. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 3, p. 54-58, 2010.
- GALINDO, F. S. et al. Manejo da adubação nitrogenada no capim-mombaça em função de fontes e doses de nitrogênio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 900-913, 2018.
- GALVÃO JÚNIOR, J. G. B. et al. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, n. 2, p. 78-85, 2014.
- HOLANDA, A. C. et al. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 7, n. 1, p. 39-50, 2007.
- JARDIM, A. M. R. F. et al. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 421-430, 2021.
- LARCHER, W. **Eco fisiologia vegetal**. São Carlos: São Paulo, Rima, 2006. 550p.
- LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer-Goiânia**, v. 6, n. 11, p. 1-21, 2010.

- LIMA, L. R. et al. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 191-201, 2018.
- LIMA, R. M. B. et al. Substituição do milho por palma forrageira: comportamento ingestivo de vacas mestiças em lactação. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 25, n. 2, p. 347-353, 2003.
- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance—current assessment. **Journal of the irrigation and drainage division**, v. 103, n. 2, p. 115-134, 1977.
- MACHADO, R. et al. Efeito da salinidade em características físico-hídricas em solos salino-sodilizados no perímetro irrigado Jabiberi-SE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 1, n. 1, p. 15-19, 2007.
- MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2008.
- MARSCHNER, H. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 2011.
- MEDEIROS, P. R. F. et al. Tolerância da cultura do tomate à salinidade do solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 51-55, 2012.
- MODESTO, F. J. N. et al. Crescimento, produção e consumo hídrico do quiabeiro submetido à salinidade em condições hidropônicas. **Irriga**, v. 24, n. 1, p. 86-97, 2019.
- MOURA, M. S. B.; ANGELOTTI, F. Clima. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 2, cap. 3, p. 411-429, 2008.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual review of plant biology**, v. 59, p. 651, 2008.
- NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 239-258, 2010.
- NOBRE, P. et al. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Campina Grande: INSA-PB**, p. 25-36, 2011.
- NOBRE, R. G. et al. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 76-85, 2013.
- NUNES, C. S. Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. **Revista Verde**, v. 6, n. 1, p. 58-66, 2011.
- OLIVEIRA, E. A.; JUNQUEIRA, S. F.; MASCARENHAS, R. J. Caracterização físico-química e nutricional do fruto da palma (*Opuntia fícus indica* L. mill) cultivada no sertão do sub-médio São Francisco. **Holos**, v. 3, p. 113-119, 2011.

OLIVEIRA, F. T. et al. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, p. 27-37, 2010.

OLIVEIRA, G. S.; VECCHIA, F. A. S. Mudanças climáticas. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, v. 1, p. 367-400, 2013.

ORESCA, D. **Adubação nitrogenada como atenuador dos efeitos da salinidade da água de irrigação utilizada para produção de forragem no semiárido**, Brasil. 2018. Dissertação (mestrado). Serra Talhada: UAST, 2018.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005.

PAULINO, J. et al. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Irriga**, v. 16, n. 2, p. 163-176, 2011.

PEDROTTI, A. 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.

PENHA, T. A. M.; MIYAMOTO, B. C. B.; MAIA, A. G. Mudanças climáticas e o impacto na produção agropecuária no rio grande do norte. **Revista de Estudos Sociais**, v. 23, n. 47, 2021.

PEREIRA, F. C. et al. Índice de sobrevivência de *Opuntia ficus indica* L.(Mill) CACTACEAE em áreas degradadas do Seridó Paraibano. In: **VII CONNEPI- Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2012.

PEREIRA, M. O. **Desempenho agrônomo da palma forrageira sob lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água**. 2020. 73 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2020.

PEREIRA, P. C. et al. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, 2015.

PEREZ-MARIN, A. M. et al. Núcleos de desertificação do semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica?. **Parcerias Estratégicas**, v. 17, n. 34, p. 87-106, 2012.

QUEIROZ, M. G. et al. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente Semiárido. **Irriga, Botucatu, Edição Especial, Irrigação**, p. 141-154, 2016

R Core Team, 2018 R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2018) <https://www.r-project.org/Google Scholar>

REGO, M. M. T. et al. Morfologia e rendimento de biomassa da palma miúda irrigada sob doses de adubação orgânica e intensidades de corte. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 16, n. 2, p. 118-130, 2014.

RHOADES, J. D. Drainage for salinity control. **Drainage for agriculture**, v. 17, p. 433-461, 1974.

RIBEIRO, M. R.; FILHO, M. R. 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.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. 2003. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. H. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208.

RICHARDS, L. A. (ed). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington DC, US Department of Agriculture, 1954. 160 p.

RICHTER, M. F.; LARA, D. M.; ANDREAZZA, R. C. L. Educação Ambiental e Gases do Efeito Estufa (GEE): uma abordagem do papel do metano para Educação Básica. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 16, n. 5, p. 431-445, 2021.

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 365-373, 2017.

SALVADOR, K. R. S. et al. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2369-2390, 2021.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia, Recife**, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.

SANTANA, M. J. et al. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 2, p. 443-450, 2003.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: EMBRAPA, 5 edição, 356p, 2018.

SANTOS, J. P. A. et al. Técnicas de manejo sustentável para o aporte forrageiro da agricultura familiar no semiárido brasileiro: palma forrageira, irrigação e fondren. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 3910-3931, 2021.

SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. **A Palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 2º ed., Editora Universitária da UFPE. Recife-PE, p. 143-162, 2005.

SANTOS, N. S. et al. Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 5, n. 1, p. e9452-e9452, 2020.

SANTOS, T. S. et al. Análise de Eventos Extremos na Região Amazônica (Analysis of Extreme Events in the Amazon Region). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1356-1370, 2013.

SANTOS, T. S. et al. Projeção da suscetibilidade a desertificação em Pernambuco utilizando o modelo HADGEM-ES (Projection of susceptibility to desertification in Pernambuco using the HADGEM-ES model). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1170-1179, 2017.

SCHOSSLER, T. R. et al. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, 2012.

SEVERO, D. S. et al. Elaboração e caracterização físico-química e microbiológica da farinha da palma, *Opuntia fícusindica* Mill, em diferentes temperaturas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 32, 2015.

SHAN, A. Y. K. V. et al. Assimilação metabólica de nitrogênio em plântulas de seringueira cultivadas com nitrato ou amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 754-762, 2012.

SILVA, A. K. O.; SILVA, H. P. B. O processo de desertificação e seus impactos sobre os recursos naturais e sociais no município de Cabrobó–Pernambuco–Brasil. **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP**, v. 8, n. 1, p. 203-215, 2015.

SILVA, I. N. et al. Qualidade de Água na Irrigação. **Revista ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 07, n. 3, p. 01-15, 2011.

SILVA, J. A. da et al. Extração/exportação de nutrientes em *Opuntia ficus-indica* sob diferentes espaçamentos e fertilizantes químicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 236-242, 2016.

SILVA, J. A. et al. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 342-350, 2013.

SILVA, J. A. et al. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 866-875, 2012.

SILVA, J. K. M. et al. Efeito da salinidade e adubos orgânicos no desenvolvimento da rúcula. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 5, 2008.

SILVA, J. L. A. et al. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 66-72, 2014.

SILVA, J. R. I. et al. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science/Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 11, n. 3, 2018.

SILVA, L. M. et al. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v. 44, p. 2064-2071, 2014.

SILVA, N. G. M. et al. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2389-2397, 2010.

SILVA, S. S. et al. Manejo de águas salinas e adubação nitrogenada no cultivo da mamoneira em área do semiárido Paraibano. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 110-117, 2013.

SILVA, T. G. F. et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SOARES, D. B. **Degradação ambiental no semiárido pernambucano: contribuição ao estudo da desertificação**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SOARES, F. M. F.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; SILVA, W. R. T. Avaliação do crescimento vegetativo de palma forrageira no Semiárido Alagoano. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 1, p. 1777-1785, 2021.

WILLIAMS, W. D. Salinization of rivers and streams: an important environmental hazard. **Ambio**, v. 15, p. 180-185, 1987.