

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA**

**Influência do uso de biofertilizante a base de esterco caprino  
(BioCapri) na dinâmica de crescimento e produção de palma  
forrageira no semiárido brasileiro**

**Renan Matheus Cordeiro Leite**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia da  
Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade  
Acadêmica de Serra Talhada, como requisito básico  
para conclusão do curso

**SERRA TALHADA**

**2021**

**RENAN MATHEUS CORDEIRO LEITE**

**Influência do uso de biofertilizante a base de esterco caprino  
(BioCapri) na dinâmica de crescimento e produção de palma  
forrageira no semiárido brasileiro**

Orientador: Prof Dr. Thieres George Freire da Silva

Coorientadores: Msc. Ana Karlla Penna Rocha;

MSc. Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim.

Monografia apresentada ao curso de agronomia da  
Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade  
Acadêmica de Serra Talhada, como requisito básico  
para conclusão do curso

**Serra Talhada**

**2021**

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)

---

MacCallis teri Leite, Renan Matheus Cordeiro  
Influência do uso de biofertilizante a base de esterco caprino (BioCapri) na dinâmica de crescimento e produção de palma forrageira no semiárido brasileiro / Renan Matheus Cordeiro Leite. - 2021.  
60 f. : il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva.  
Coorientador: Alexandre Manicoba da Rosa Ferraz Jardim.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Bacharelado em Agronomia, Serra Talhada, 2021.

1. Fenologia. 2. Momento de corte. 3. Forragem. 4. Bioestimulante. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Jardim, Alexandre Manicoba da Rosa Ferraz, coorient. III. Título

RENAN MATHEUS CORDEIRO LEITE

**Influência do uso de biofertilizante a base de esterco caprino (BioCapri) na dinâmica de crescimento e produção de palma forrageira no Semiárido brasileiro**

Trabalho de Conclusão de curso bacharelado em Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como requisito básico para a conclusão do curso.

Aprovada em 23 de fevereiro de 2021.

Banca Examinadora

---

Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva

---

Prof. DSc. Luciana Sandra Bastos de Souza

---

MSc. Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim

---

MSc. Ana Karlla Penna Rocha

À toda minha família, em especial, a minha mãe, Gislaide Cristina Cordeiro Leite, meu pai, Flávio Roberto de Moura Leite, minha Avó materna, Maria de Fátima Cordeiro de Melo, meus Irmãos, Hannã Flavio Cordeiro Leite e Ryan Max Cordeiro Leite por todo o amor e carinho, por todas as batalhas que passaram e enfrentaram para me proporcionar o estudo, por todos os conselhos e exemplos, palavras e incentivos, os quais me motivaram a sempre seguir em frente de cabeça erguida e nunca desistir dos meus objetivos. Com toda minha admiração e gratidão.

**Dedico!**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus avós paternos, Flávio Luiz Leite e Maria de Lurdes de Moura Leite por todo carinho e admiração que me proporcionaram durante a minha vida. Às minhas tias do coração, Lucimara de Moura Ferreira Bezerra e Fabianny Crystina de Moura Leite e meu tio Luis Fabiano de Moura Leite pelo carinho que recebi ao longo de minha caminhada.

Aos meus primos Lucício Ranieri, Pedro Henrique e Julio Cesar, assim como a todos os meus amigos de infância, Luydson Nascimento, Henrique Nascimento, Adson Silva, Victor Almeida, Wesley Henrique, Airton Matheus, Soledade Nascimento, Rafaela Santos e todos aqueles que cresceram e conviveram comigo nas ruas da Vila Anapolis e “Matador” de Pesqueira – PE, agradeço pelo carinho e momentos compartilhados.

Ao meu orientador Prof. Thieres George Freire da Silva, por todas as portas abertas que me proporcionou, conselhos e orientações pessoais e acadêmicas, sou grato e me orgulho muito de ter feito parte do seu convívio, onde contagia todos ao seu redor com suas palavras de motivação e todo o seu comprometimento com as pessoas, por que: *“não basta ser bom, tem que ser espetacular”*. Foi um enorme prazer aprender com uma pessoa que não mede esforços para somar na vida de outras pessoas, sendo um exemplo de vida.

Aos meus Coorientadores Allan Rodrigues da Silva e Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim pela orientação, companheirismo, disposição de ensinar, pelas conversas e conselhos e pela confiança investida em todos os meus momentos acadêmicos.

Aos amigos Leonardo Francelino de Souza e Marcelo José da Silva, Rafael Salú Cavalcante e Rayles Mayara Moreira Chagas pelo acolhimento e conversas, noites de estudo e muita batalha ao longo de 6 anos de convívio. Assim como todos os meus colegas de turma, em especial, José Orlando, Irlândio Santana, João Pedro Alves e Gustavo Lira pelos momentos de alegria e tristeza compartilhados.

Aos Membros do Grupo de Agrometeorologia no Semiárido, em especial Gabriel Italo, George Araújo Jr., Cleber Pereira, Gebson Pinheiro, Hygor Kristoph, Glícia Rafaela e Arelli Souza por todas as oportunidades que me proporcionaram ao longo desse

período, onde me orgulho de ter conhecido pessoas maravilhosas como vocês. Agradeço ainda, por todo o aprendizado construído ao lado de vocês.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), 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, em especial, Ellen Viegas, Allan César, Renato Santos e Gibran Alves sendo todos professores de excelente qualidade, dedicados e comprometidos com o ensino, onde levarei comigo um pouco de cada um na minha vida pessoal e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de quatro bolsas de iniciação científica e financiamento dos projetos de pesquisa que tanto agregaram ao meu conhecimento.

Meus sinceros agradecimentos a todos!

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa do Brasil e da região Nordeste com delimitação geográfica do Semiárido e classificação climática. Fonte: o autor. .... 14
- Figura 2.** Representação simplificada do metabolismo ácido das crassuláceas em plantas de palma forrageira. Fonte: Jardim et al. (2020a). .... 17
- Figura 3.** (A) rendimento de matéria fresca, (B) rendimento de matéria seca, (C) conteúdo de matéria seca, do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes lâminas de irrigação no Semiárido brasileiro. Fonte: Queiroz et al. (2015). .... 24
- Figura 4.** Localização aérea do cultivo de palma forrageira, cultivada em vasos no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras (UFRPE/UAST), Serra Talhada-PE. Fonte: Autor..... 27
- Figura 5.** Arranjo espacial do experimento em vaso de dois clones de palma forrageira submetidos a diferentes doses de BioCapri mais uma dose de esterco em Serra Talhada, PE. .... 29
- Figura 6.** A) Temperatura máxima (Tx), mínima (Tn) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR); B) Umidade relativa máxima (URx), mínima (URn) e precipitação pluvial (P) no período de janeiro de 2017 a setembro de 2018, durante dois ciclos sucessivos de palma forrageira em Serra Talhada, PE, Brasil. .... 33
- Figura 7.** Fases fenológicas e momento de corte do primeiro ciclo dos clones de palma forrageira (Miúda – MIU e Orelha de Elefante Mexicana – OEM), adubadas com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino. .... 37
- Figura 8.** Fases fenológicas e momento de corte do segundo ciclo dos clones de palma forrageira, adubadas com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino. .... 39



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Propriedades físicas e químicas de Cambissola Háplico na profundidade de 0 – 20 e 20 – 40 cm em Serra Talhada, PE, Brasil. .... 28
- Tabela 2.** Análise química do biofertilizante líquido (BioCapri) aplicado em cultivo de clones de palma forrageira, em Serra Talhada, PE. .... 30
- Tabela 3.** Variáveis biométricas do primeiro ciclo de palma forrageira, clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU), adubados com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido (BioCapri). .... 35
- Tabela 4.** Variáveis biométricas do segundo ciclo de palma forrageira, clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU), adubados com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido (BioCapri). .... 36
- Tabela 5.** Rendimento de massa seca (MS, g planta<sup>-1</sup>) e conteúdo de massa seca (CMS) da palma forrageira em ciclos sucessivos, clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU), adubados com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido (BioCapri). .... 40
- Tabela 6.** Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi, MJ m<sup>-2</sup>), eficiência do uso da radiação (EUR, g MJ<sup>-1</sup>) e eficiência do uso da água (EUA, g L<sup>-1</sup>) da palma forrageira em ciclos sucessivos, adubada com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino. .... 42

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
2.1 Mudanças climáticas e caracterização do semiárido brasileiro .....	13
2.2 Agricultura familiar em ambientes semiáridos.....	15
2.3 Palma forrageira e uso como recurso forrageiro no Semiárido .....	17
2.4 Biofertilizantes para intensificação e sustentabilidade da produção .....	19
2.5 Gerenciamento agrícola eficiente da água e radiação solar em cultivos... 21	
2.5.1 Eficiência no uso da água.....	21
2.5.2 Eficiência do uso da radiação solar .....	22
2.6 Irrigação em palma forrageira .....	23
2.7 Fenofase e momento de corte.....	25
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	26
3.2 Formulação e características químicas do BioCapri .....	29
3.3 Monitoramento meteorológico e aplicação da irrigação .....	30
3.4 Monitoramentos do crescimento e produtividade da palma forrageira.....	30
3.5 Eficiência do uso dos recursos biofísicos.....	31
3.6 Análise estatística.....	32
<b>4. RESULTADOS</b> .....	32
4.1 Variáveis ambientais .....	32
4.2 Variáveis biométricas da palma forrageira .....	34
4.2.1 Primeiro ciclo experimental.....	34
4.2.2 Segundo ciclo experimental.....	35
4.3 Fases fenológicas e momento de corte.....	36
4.3.1 Primeiro ciclo da cultura .....	36
4.3.2 Segundo ciclo da cultura .....	38
4.4 Rendimento de forragem .....	40
4.5 Eficiência do uso dos recursos biofísicos.....	41
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	43
5.1 Rendimento de forragem .....	43
5.2 Variáveis biométricas da palma forrageira .....	43
5.3 Fenofases e momento ideal de corte da palma forrageira .....	44
5.4 Eficiência do uso dos recursos biofísicos pela palma forrageira .....	45

<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## RESUMO

### **Influência do uso de biofertilizante a base de esterco caprino (BioCapri) na dinâmica de crescimento e produção de palma forrageira no semiárido brasileiro**

Diversos problemas vêm ameaçando a segurança alimentar no mundo, o que se torna ainda mais preocupante em localidades vulneráveis climaticamente, sendo necessário a adoção de práticas de resiliência agrícola para mitigar os efeitos das mudanças climáticas na cadeia produtiva em regiões semiáridas. A palma forrageira se torna uma boa alternativa para a produção de forragem devido a sua alta adaptação às condições climáticas adversas, além de ter baixo custo de produção, a adubação orgânica pode proporcionar um incremento no desempenho agrônômico da cultura. Mantendo-se a oferta de alimento para os rebanhos em épocas de estiagem. Este trabalho investigou a aplicação de técnicas sustentáveis e de baixo custo a cultura da palma forrageira no Semiárido brasileiro, visando um gerenciamento eficiente dos recursos, incremento de produtividade e melhor entendimento na dinâmica de crescimento. Foram avaliados dois clones de palma forrageira, Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), conduzindo-se em vasos e submetidos a cinco doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino (BioCapri), sendo 0, 50, 100, 150 e 200 mL planta<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>) e uma dose de esterco caprino (180 cm<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup>). Avaliações biométricas mensais foram realizadas durante o período experimental para avaliar o crescimento e desenvolvimento da palma forrageira, obtendo-se altura e largura da planta, número de cladódios e comprimento, largura, perímetro e espessura dos cladódios. A produtividade da palma forrageira foi obtida por meio de um único evento de biomassa, sendo realizada ao fim de cada ciclo. Para estabelecer a fenologia da palma forrageira, o início de uma nova fase foi considerado quando a taxa de produção de uma determinada ordem de cladódios foi ultrapassada pela taxa de produção de cladódios da ordem subsequente. Avaliaram-se a eficiência do uso da radiação e da água. Verificou-se que o esterco e as doses de biofertilizante líquido aplicadas (0, 50, 100, 150 e 200 mL) não afetaram a maioria das variáveis biométricas analisadas, porém, o fator clone se diferenciou devido às características intrínsecas dos clones, onde o clone OEM se sobressaiu em variáveis como CC, LC, PC, AC e IAF. Apesar do clone MIU apresentar uma menor interceptação de radiação, observou-se uma melhor capacidade de conversão em biomassa devido ao conteúdo de MS superior desse clone. O aporte de biofertilizante, assim como o uso de esterco caprino não causaram efeitos significativos no rendimento de forragem, porém o clone se diferenciou decorrente às suas características intrínsecas. O desenvolvimento de pesquisas futuras com palma forrageira e suas eficiências dos recursos naturais são essenciais para documentar, e descrever as relações dessa cultura com as condições ambientais e de fertilidade do solo.

Palavras-chave: Fenologia, Momento de corte, Forragem, Bioestimulante

## ABSTRACT

### **Influence of the use of biofertilizer based on goat manure (BioCapri) on the growth dynamics and production of cactus forage in the Brazilian semiarid region**

Several problems are threatening food security in the world, which is even more worrying in climatically vulnerable locations, requiring the adoption of agricultural resilience practices to mitigate the effects of climate change on the production chain in semiarid regions. The forage cactus becomes a good alternative for the production of forage due to its high adaptation to adverse climatic conditions, in addition to having a low production cost, organic fertilization can provide an increase in the agronomic performance of the crop. Maintaining the supply of food for herds in times of drought. This work investigated the application of sustainable and low-cost techniques to the cultivation of forage cactus in the Brazilian semiarid region, aiming at an efficient management of resources, an increase in productivity and a better understanding of the growth dynamics. Two forage cactus clones were evaluated, Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) and Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Conducted in pots and subjected to five doses of liquid biofertilizer at based on goat manure (BioCapri), with 0, 50, 100, 150 and 200 mL plant<sup>-1</sup> month<sup>-1</sup>, and a dose of goat manure (180 cm<sup>3</sup> plant<sup>-1</sup>). Monthly biometric assessments were carried out during the experimental period to assess the growth and development of the forage cactus, obtaining plant height and width, number of cladodes and length, width, perimeter and thickness of the cladodes. The productivity of the forage palm was obtained by means of a single biomass (dry mass, DM) event, being carried out at the end of each cycle. In order to establish a phenology of forage cactus, the beginning of a new phase was considered when a production tax of a specified order of cladodes was exceeded by the rate of production of cladodes of the subsequent order. Evaluate the efficiency of the use of radiation and water. It was found that the manure and the doses of applied liquid biofertilizer (0, 50, 100, 150 and 200 mL) did not affect most of the biometric variables analyzed, however, the clone factor differed due to the intrinsic characteristics of the clones, where the OEM clone excelled in variables such as CC, LC, PC, AC and IAF. Although the MIU clone has a lower radiation interception, a better capacity for converting to biomass was observed due to the superior MS content of this clone. The contribution of biofertilizer, as well as the use of goat manure, did not cause results obtained in the forage yield, however the clone differed due to its intrinsic characteristics. The development of future research with forage cactus and its natural resource efficiencies are essential to document, and describe the relationship of this crop with the environmental conditions and soil fertility.

Keyword: Morphometry, Phenology, Cutting moment, Forage, Biostimulant

## 1. INTRODUÇÃO

O Nordeste do Brasil é uma região que vem passando por mudanças drásticas na vegetação e no clima ao longo das últimas décadas, onde recorrentes eventos de secas podem ser observadas (BARBOSA; KUMAR, 2016). Estas condições podem ser intensificadas em decorrência das mudanças do clima, comprometendo a produção de alimentos e aumentando as desigualdades sociais em regiões mais vulneráveis, decorrente destes fenômenos (FAO, 2018; FÉLIX et al., 2020; PEREIRA; NASCIMENTO, 2020)

As atividades agropecuárias são de grande importância para a subsistência da população rural, no entanto, o baixo nível de tecnificação dos pequenos produtores ocasionam uma redução na produtividade de alimento para os rebanhos (ALTHOFF et al., 2016; ANGELOTTI; FERNANDES JÚNIOR; SÁ, 2011; JIMÉNEZ et al., 2019). Além disso, a utilização de técnicas de menor eficiência no manejo da vegetação nativa (caatinga), faz com que essa fonte principal de alimento, torne-se insuficiente durante os longos períodos de estiagem (MORAES et al., 2019), ocasionando também o aumento no êxodo rural (DELGADO; BERGAMASCO, 2017; HINOJOSA et al., 2016). Sendo assim, a utilização de espécies adaptadas e outras práticas de resiliência agrícola são fundamentais para a qualidade e estabilidade da produção.

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é uma boa alternativa para compor os sistemas de cultivo no semiárido brasileiro, decorrente dos níveis de carboidratos não fibrosos, ser rica em minerais, demonstrar uma boa aceitabilidade, ter baixo custo de produção e possuir o metabolismo ácido das crassuláceas, o que proporciona uma alta eficiência hídrica, promovendo uma boa adaptação as condições climáticas semiáridas e áridas (DUBEUX JR. et al., 2015; MARQUES et al., 2017; QUEIROZ et al., 2016; SILVA et al., 2015a). A utilização de práticas de manejo adequadas é de grande importância para atingir níveis satisfatórios de produtividade desta cultura, por exemplo, Dantas et al. (2017) e Araújo Júnior et al. (2021) verificaram que a produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido é viável economicamente. Queiroz et al. (2015) salientaram que o número de cladódios, biomassa verde e seca, em condições irrigadas

foram superiores aos observados na literatura, em cultivos de sequeiro, mesmo com ciclos mais longos.

A adubação orgânica por outro lado, pode proporcionar um incremento no desempenho agrônômico da cultura. Donato et al. (2014), verificou por meio de um estudo, que o incremento de doses de esterco, potencializa o aumento da altura da planta e comprimento do cladódio de palma. Além disso, o aumento nas doses de estrume de gado na palma aumenta o conteúdo de fósforo, nitrogênio, potássio e enxofre nos cladódios (DONATO et al., 2016). Logo, o manejo de um cultivo de palma pode proporcionar variação na dinâmica de crescimento e produtividade.

Este estudo investigou as características estruturais e a eficiência de utilização dos recursos naturais por diferentes clones de palma forrageira (i.e. Orelha de Elefante Mexicana e Miúda) com uso de bioestimulante.

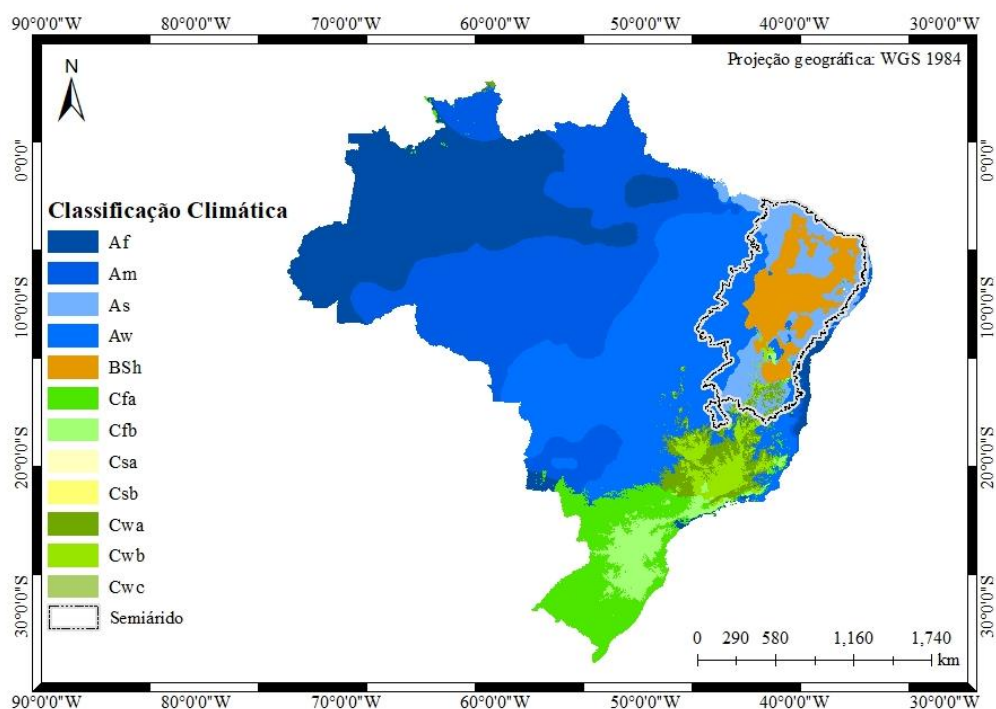
## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Mudanças climáticas e caracterização do semiárido brasileiro**

A variabilidade e as mudanças no clima estão influenciando de forma negativa o setor agrícola, sendo os pequenos agricultores os mais atingidos por esses fatores (FAO, 2016; FAO et al., 2018). Sob estas condições, trabalhos sugerem alterações nos regimes de chuvas e temperatura, que podem maximizar os problemas relativos à baixa disponibilidade hídrica, em especial nas regiões semiáridas. Logo, espera-se um aumento da vulnerabilidade destes ambientes e da agricultura de subsistência, visto que as pequenas propriedades em sua maioria são dependentes da agricultura de sequeiro para a produção de alimento. Nesses setores é necessário adotar práticas apropriadas que promovam a resiliência e melhor adaptação aos cenários das mudanças climáticas. Porém, vários empecilhos dificultam à adaptação e a capacidade produtiva dos pequenos agricultores em adotarem algumas opções de sistemas inteligentes (AWAZI; TCHAMBA; AVANA, 2019).

Uma extensa parte do território mundial é representado por regiões áridas e semiáridas, abrangendo aproximadamente 3.1 milhões de km<sup>2</sup> (CÂNDIDO; ARAÚJO;

CAVALCANTE, 2005). No Brasil, esta região se estende por um espaço geográfico que se estende por estados da região Nordeste, mais o Norte de Minas Gerais, totalizando uma área territorial de aproximadamente 1,1 milhões de km<sup>2</sup>, considerada como de extrema vulnerabilidade climática e um dos semiáridos mais populosos do mundo (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017). Essa região do Brasil expressa características específicas como temperaturas altas, baixa umidade relativa do ar, elevada insolação, precipitações escassas, entre 200 a 800 mm e déficit hídrico. Esses fatores contribuem de forma significativa para a ocorrência dos eventos de secas (Figura 1) (FERREIRA et al., 2009; PAREDES-TREJO; BARBOSA; LAKSHMI KUMAR, 2017; THORNTHWAITE, 1948).



**Figura 1.** Mapa do Brasil e da região Nordeste com delimitação geográfica do Semiárido e classificação climática. Fonte: o autor.

A floresta tropical nativa da região semiárida do Nordeste do Brasil, denominada “Caatinga”, originalmente ocupa uma área de quase 1 milhão de km<sup>2</sup> (ALTHOFF et al.,



2016; MEDEIROS et al., 2020; QUEIROZ et al., 2020). Possui também uma variedade de espécies endêmicas, composta principalmente por plantas xerófitas, lenhosas, espinhosas, deiscentes e semi-deiscentes com predominância de árvores e arbustos (MARQUES et al., 2020). Devido à grande biodiversidade, parte expressiva da biomassa vegetal tem sido usada como produtos florestais (madeira, carvão vegetal, forragem) e isso vem ocasionando perdas significativas da vegetação.

Nas regiões semiáridas as perdas e prejuízos na produção são ampliadas com a ocorrência dos fenômenos de seca. A seca é definida como um período prolongado de meses ou anos, em que a precipitação pluviométrica é inferior à média anual, resultando em escassez hídrica. As áreas afetadas pela seca evoluem gradualmente à medida que os sintomas do estresse hídrico nas plantas se desenvolvem lentamente. Esses impactos da seca na vegetação são denominados seca agrícola (SON et al., 2012; UDMALE et al., 2014), que em conjunto com altas concentrações de sais solúveis nos solos, resultam em uma água de má qualidade, devido a salinização e eutrofização das fontes (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2012).

Os solos das regiões áridas e semiárida são pouco intemperizados e rasos, assim apresentam baixa capacidade de permeabilidade e de retenção de água, e através das ações antrópicas também ocorre a diminuição da cobertura vegetal viva e morta dos solos. Isso ocasiona o aumento dos processos erosivos, ligado a baixa precipitação pluvial, elevada evapotranspiração potencial e a presença de camadas impermeáveis, que favorecem o aumento da concentração de solos salinos e interfere diretamente no desenvolvimento das plantas (ARAÚJO, 2011; DIAS et al., 2016; HOLANDA et al., 2016).

## **2.2 Agricultura familiar em ambientes semiáridos**

A agricultura é uma prática de uso dominante das terras agrícolas do planeta, cobrindo atualmente aproximadamente 40% da superfície terrestre (LEVERS et al., 2018). No Brasil, a agricultura familiar compreende 3,89 milhões de unidades produtivas (77% do total), com 10,1 milhões de pessoas ocupadas, contribuindo expressivamente para a produção de alimentos essenciais da dieta básica da população, além de ter papel preponderante na geração de trabalho rural (IBGE, 2019). As pequenas propriedades

são geralmente consideradas mais diversificadas, usam práticas tradicionais, preservam mais características da paisagem e usam um horizonte de planejamento mais longo, para que seus filhos herdem uma fazenda em boas condições agrícolas e ambientais (INWOOD; CLARK; BEAN, 2013; WUEPPER; WIMMER; SAUER, 2020).

A sucessão agrícola familiar é o tipo predominante de transferência agrícola, no entanto em algumas regiões, a baixa renovação gerencial está ligada ao êxodo rural (CONWAY et al., 2017; CRAMER; HOBBS; STANDISH, 2008; EISTRUP et al., 2019; LEVERS et al., 2018), principalmente em áreas marginais e menos produtivas, onde a agricultura e a pecuária é fundamental para a manutenção da população rural (HINOJOSA et al., 2016).

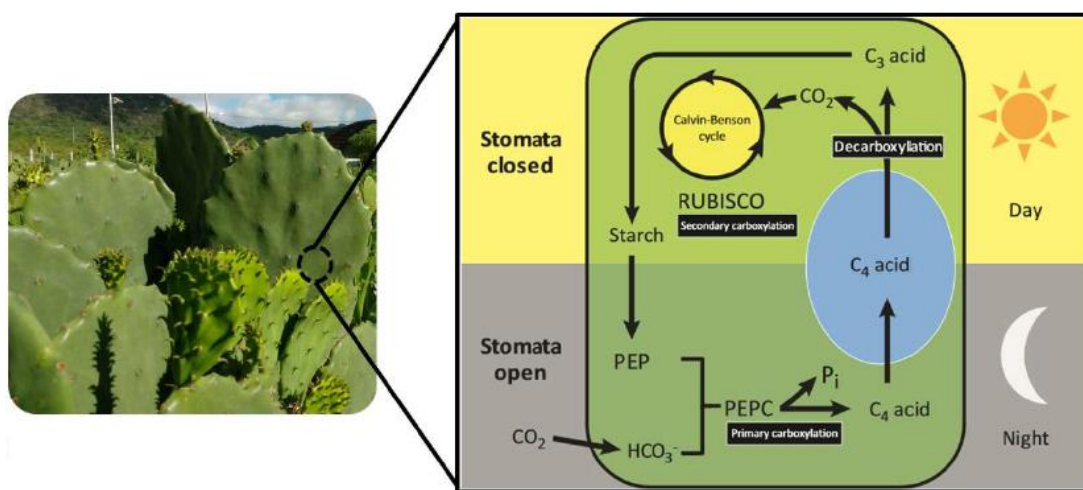
Muitas das pessoas no semiárido dependem diretamente do gado como um componente essencial de sua estratégia de subsistência. A pecuária extensiva, que praticam técnicas de menor eficiência no manejo, onde a vegetação nativa da caatinga normalmente é utilizada como fonte de alimento principal em determinadas épocas do ano, desempenha um papel fundamental no gerenciamento da terra, mitigando o abandono e mantendo a população nessas regiões (BERTOLOZZI-CAREDIO et al., 2020; ESTEVEZ-MORENO et al., 2019; MORAES et al., 2019).

Porém, o suprimento alimentar dos rebanhos é insuficiente durante os longos períodos de estiagem, uma vez que em média apenas 6% da biomassa anual produzida pela caatinga pode ser considerada forragem (FERREIRA et al., 2009). Entre 2012 e 2013, cerca de 1.300 municípios e 10 milhões de pessoas em todo o Brasil foram atingidos pela seca. Em termos econômicos, houve um prejuízo de aproximadamente US\$ 1,5 bilhão devido à mortalidade dos rebanhos bovinos, e US\$ 1,6 bilhão provenientes de perdas agrícolas nas 10 culturas de maior interesse econômico (CUNHA et al., 2015).

Além disso, as pequenas propriedades rurais normalmente sofrem com restrições financeiras e de infraestrutura, e apenas uma pequena fração tem acesso a novas práticas de resiliência agrícola, uma vez que, a maioria dos pequenos agricultores buscam conhecimento não tão atualizados de outros produtores locais (GARCÍA et al., 2020; JIMÉNEZ et al., 2019; WÓJCIK; JEZIORSKA-BIEL; CZAPIEWSKI, 2019).

## 2.3 Palma forrageira e uso como recurso forrageiro no Semiárido

Algumas plantas com metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), representam uma boa alternativa para compor os sistemas de cultivos das propriedades em regiões semiáridas, isso devido à alta eficiência no uso da água, visto que os estômatos são abertos predominantemente a noite para capturar  $\text{CO}_2$  da atmosfera (Figura 2). Dentre as espécies com esse mecanismo, a palma forrageira apresenta grande importância agropecuária em várias regiões do Brasil e do mundo, possuindo área plantada de 600.000 ha (GARCETE-GÓMEZ et al., 2017). No mundo a palma é cultivada para consumo humano e uso forrageiro em aproximadamente 1.000.000 ha (CARDADOR-MARTÍNEZ; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ; SANDOVAL, 2011), o que evidencia sua grande importância, sendo a cactácea de maior relevância no mundo (JESUS, 2013).



**Figura 2.** Representação simplificada do metabolismo ácido das crassuláceas em plantas de palma forrageira. Fonte: Jardim et al. (2020a).

Esta planta é originária do México, e pertence à família Cactácea, onde foi introduzida no Brasil durante o século XIX com o objetivo de produzir corante oriundo de insetos fêmeas (carmim, proveniente do ácido carmínico). Porém, a ação não foi bem sucedida. Logo, os estados de Pernambuco e Paraíba sofreram grandes devastações

nos palmais, visto que o inseto se tornou praga chave da cultura. No entanto, clones de palma forrageira com resistência ao seu ataque já são difundidos na região para a produção de forragem (FALCÃO et al., 2013; JARDIM et al., 2020a; SANTOS et al., 2006; VASCONCELOS et al., 2009).

Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) se sobressaem pela tolerância a cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*) e sua ampla adaptação devido suas modificações fisiológicas, anatômicas e estruturais em condições adversas (MARQUES et al., 2017; SILVA et al., 2015b). É utilizada como alimento volumoso para os rebanhos da região, sendo o valor nutricional mais um ponto positivo para alimentação animal. Os níveis de carboidratos não fibrosos são considerados altos, com altos teores de água e mucilagem, com significativa quantidade de minerais com cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg), demonstrando também boa aceitabilidade e baixo custo de produção (CARDOSO et al., 2019; CRUZ, 2018; MARQUES et al., 2017).

Os clones Orelha de Elefante Mexicana (*O. stricta* (Haw.) Haw.) em termos produtivos, representa o rendimento maior que clones do gênero *Nopalea* (SILVA et al., 2015b). Esse resultado pode estar associado à maior quantidade de clorênquima, que influencia diretamente na eficiência fotossintética e amplitude do índice de área do cladódio da Orelha de Elefante Mexicana, resultado da maior área de seus cladódios e maior produção de biomassa quando comparados aos clones do gênero *Nopalea* (SILVA et al., 2010). Outro fator relevante, é que devido à alta mortalidade dos clones *Nopalea* em algumas configurações de cultivo com irrigação, faz com que essa eficiência do sistema se torne menor, quando comparado com a *Opuntia* em mesma configuração de plantio (JARDIM et al., 2021).

Porém, as condições climáticas e características físicas e químicas do solo exercem um fator de grande influência no desenvolvimento e crescimento de todas as espécies botânicas, portanto, diferentes sistemas de produção podem afetar no desempenho produtivo, apesar de algumas espécies pertencerem ao mesmo gênero, sendo assim, espécies de palma exibem respostas diferentes em condições diversificadas de sistemas de cultivo (QUEIROZ et al., 2016; SILVA et al., 2015a).

## **2.4 Biofertilizantes para intensificação e sustentabilidade da produção**

A população mundial vem crescendo gradativamente ao longo dos anos, no período de 1950 até 2019 o número de habitantes no planeta passou de 2,5 bilhões para 7,7 bilhões de pessoas, podendo atingir 9,7 bilhões de habitantes até o ano de 2050, e projeções de 10,9 bilhões em 2100 (ONU, 2019). Por esse motivo, a demanda por alimentos também tem comportamento semelhante, tornando-se cada vez mais importante a produção animal e a utilização de práticas de intensificação da produção agrícola, de forma que as demandas atuais e futuras da população sejam atendidas (FAO, 2018; TILMAN et al., 2002). No entanto, a disponibilidade per capita de terras aráveis diminui continuamente ao longo das décadas (0,41 ha em 1961 a 0,25 ha em 2015 e até 2050 estima-se em 0,20 ha), o que vem tornando este desafio cada vez mais difícil (SARKAR et al., 2020).

Os efeitos da degradação da terra na produtividade de alimentos, podem às vezes ser compensados pelo aumento da fertilização. Atualmente a aplicação mundial anual de fertilizantes atinge 180 milhões de toneladas (Mt) (N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+ K<sub>2</sub>O), com a maior demanda de N (110 Mt) (WATTS; RUNION; BALKCOM, 2017), porém as entradas de fertilizantes químicos excessivos nos sistemas agrícolas contribuem para as emissões do óxido nitroso, eutrofização de recursos hídricos, aumentando a emissão dos gases de efeito estufa na atmosfera (HARRISON et al., 2019; TILMAN et al., 2002; WITHERS et al., 2014).

Na agricultura sustentável, utiliza-se práticas que atendem às necessidades sociais atuais e futuras de alimentos, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às próprias necessidades. Sistemas agrícolas sustentáveis visam desenvolver novas práticas agrícolas que são seguras e não degradam o meio ambiente (MOHAMED; SALEH; BELAL, 2014; TRIVIÑO-TARRADAS et al., 2020; VELTEN et al., 2015). Agricultura sustentável de baixo insumo, torna-se viável por ser um sistema agrícola capaz de produzir alimentos e fibras de forma lucrativa por tempo indeterminado, sem prejudicar a qualidade dos recursos naturais, garantindo práticas seguras para o fornecimento de alimentos nutritivos (SARKAR et al., 2020).

O uso de biofertilizante fornece substâncias húmicas ao solo que podem incrementar a absorção de alguns elementos, melhorando diretamente o agroecossistema, potencializando o desenvolvimento das plantas e conseqüentemente sua produtividade. Além disso, minimiza os efeitos da acidez do solo devido à capacidade de retenção de bases, pela formação de complexos orgânicos e pelo desenvolvimento de cargas negativas (GALBIATTI et al., 2011; SOUSA et al., 2008), desempenhando um papel significativo na sustentabilidade agrícola. Utilizar resíduos oriundos dos sistemas de produção animal da propriedade, possibilitando a redução total ou parcial de fertilizantes sintéticos e reduzindo os custos de produção (JI et al., 2020; SILVA et al., 2015c; YADAV et al., 2018).

No semiárido brasileiro, a pecuária é a atividade principal na maioria das propriedades, sendo 92% do rebanho caprino nacional alocado na região Nordeste, no entanto, devido as características climáticas a produção de biomassa normalmente é baixa (< 5 toneladas de MS por ha por ano), com baixo potencial forrageiro (< 1 tonelada de MS por ha por ano) (AQUINO et al., 2016; DUBEUX JR. et al., 2015; MORAES et al., 2019; QUEIROZ et al., 2020). Diante disso, é comum o uso de palma forrageira para assegurar a alimentação dos animais durante os períodos de maior estiagem, uma vez que a palma apresenta uma alta eficiência no uso da água devido ao MAC (SILVA et al., 2015a). Porém as características morfométricas e o rendimento podem ser influenciados positivamente pela maior disponibilidade de nutrientes no solo (DONATO et al., 2014).

A utilização do esterco caprino para formulação de biofertilizante apresenta-se na literatura como uma alternativa para incrementar a produtividade de meloeiro, capim, feijão e outras espécies agrícolas e florestais (ARAÚJO, 2011; SANTOS et al., 2014; SILVA et al., 2015c). Porém, não se encontra estudos que avaliam a influência de biofertilizante caprino no crescimento e produtividade de palma forrageira. A agricultura sustentável de baixo insumo surge como uma alternativa potencial para a implantação desta prática em regiões semiáridas, visto que os dejetos caprinos se encontram facilmente para a produção de biofertilizantes, onde podem ser utilizados para aumentar a disponibilidade de forragem, mitigar os riscos climáticos e melhorar as características do solo. Tais aplicações resultam em um melhor rendimento dos rebanhos, possibilitando

a redução total ou parcial de fertilizantes sintéticos e reduzindo os custos de produção (SARKAR et al., 2020).

## **2.5 Gerenciamento agrícola eficiente da água e radiação solar em cultivos**

Práticas de gerenciamento eficientes podem reduzir substancialmente o uso de nitrogênio. A obtenção de altos rendimentos nas terras agrícolas existentes nos países de menor rendimento é de grande importância para que a demanda global das culturas seja atendida com impactos ambientais mínimos. O manejo adequado dos recursos naturais pode refletir em excelentes resultados na produção agrícola, porém seu mau uso provoca degeneração do meio físico natural. Logo, estudos que avaliam a eficiência do uso da água (EUA), eficiência do uso de radiação (EUR) e eficiência do uso de nutrientes (EUN) vem se tornando cada vez mais importante para o manejo adequado dos cultivos, onde possibilitam compreender as melhores condições de manejo para potencializar o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

### **2.5.1 Eficiência no uso da água**

Em 2010, uso anual de água no mundo correspondia a 4,9 trilhões de metros cúbicos, no entanto, a tendência atual é que em 2030 aumentará para 6,9 trilhões de metros cúbicos, sendo 40% superior a capacidade de fornecimento de água disponível (BODNER; NAKHFOROOSH; KAUL, 2015; GILBERT, 2010). Aproximadamente 90% da demanda hídrica terrestre é oriunda de produtos agrícolas, e a agricultura é o maior setor de influência nos recursos hídricos do mundo (CAO et al., 2020; XINCHUN et al., 2018). O déficit hídrico e a degradação do ambiente hídrico são empecilhos para o desenvolvimento sustentável, principalmente em regiões áridas e semiáridas devido a interação entre as variáveis climáticas e a água disponível (PINHEIRO; LIER; ŠIMŮNEK, 2019).

Os cenários de mudança climática podem provocar uma redução na disponibilidade de água para a produção agrícola e se tornar uma ameaça à segurança alimentar, com isso, torna-se necessário aumentar a eficiência no uso dos recursos hídricos para a

manutenção da produtividade das culturas (CHALLINOR et al., 2016; ZHAO et al., 2017). Práticas como a irrigação por gotejamento (pode melhorar a eficiência do uso da água do cultivo), adição de matéria orgânica no solo (aumentam a capacidade de retenção de água do solo) e a seleção de culturas tolerantes a seca (apresentam alta eficiência do uso da água) podem aumentar os rendimentos agrícolas (TILMAN et al., 2002).

A eficiência do uso da água relaciona a produtividade com o consumo hídrico, sendo bastante utilizada na seleção de variedades mais tolerantes ao estresse hídrico, onde o seu conhecimento é de fundamental importância para o manejo da frequência e duração dos intervalos de reposição de água no solo (FERNANDES et al., 2018; PEREIRA; CORDERY; IACOVIDES, 2012). Vários estudos salientam que a palma forrageira se apresenta como uma alternativa em regiões semiáridas para garantir a estabilidade forrageira das propriedades (QUEIROZ et al., 2016, 2020; SILVA et al., 2015a, 2015b, 2014b; JARDIM et al., 2021).

## **2.5.2 Eficiência do uso da radiação solar**

Do ponto de vista fisiológico, e considerando o potencial de crescimento, Monteith & Moss (1977) propuseram que a produção de biomassa acima do solo em condições sem estresse, é determinada pela quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) interceptada pelo dossel, e pela eficiência com que é usada para produzir matéria seca. Isso é conhecido como eficiência de uso de radiação (EUR), parâmetro biofísico muito utilizado nas ciências agrícolas.

A radiação solar vem se destacando nas pesquisas dos últimos anos, que buscam explorar o rendimento potencial das culturas, embora a temperatura e o fotoperíodo sejam os principais fatores que atuam sobre o desenvolvimento vegetal (CARON et al., 2014), visto que a radiação solar é responsável por provocar grande parte dos processos físicos, químicos e biológicos no sistema solo-planta-atmosfera (KUNZ et al., 2007).

Existe uma relação linear entre a fitomassa e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas plantas, sendo determinante para a produtividade, onde o uso efetivo de radiação pelas culturas depende da capacidade de interceptação do dossel. Por este motivo, a conversão da radiação absorvida em matéria seca varia de acordo com a

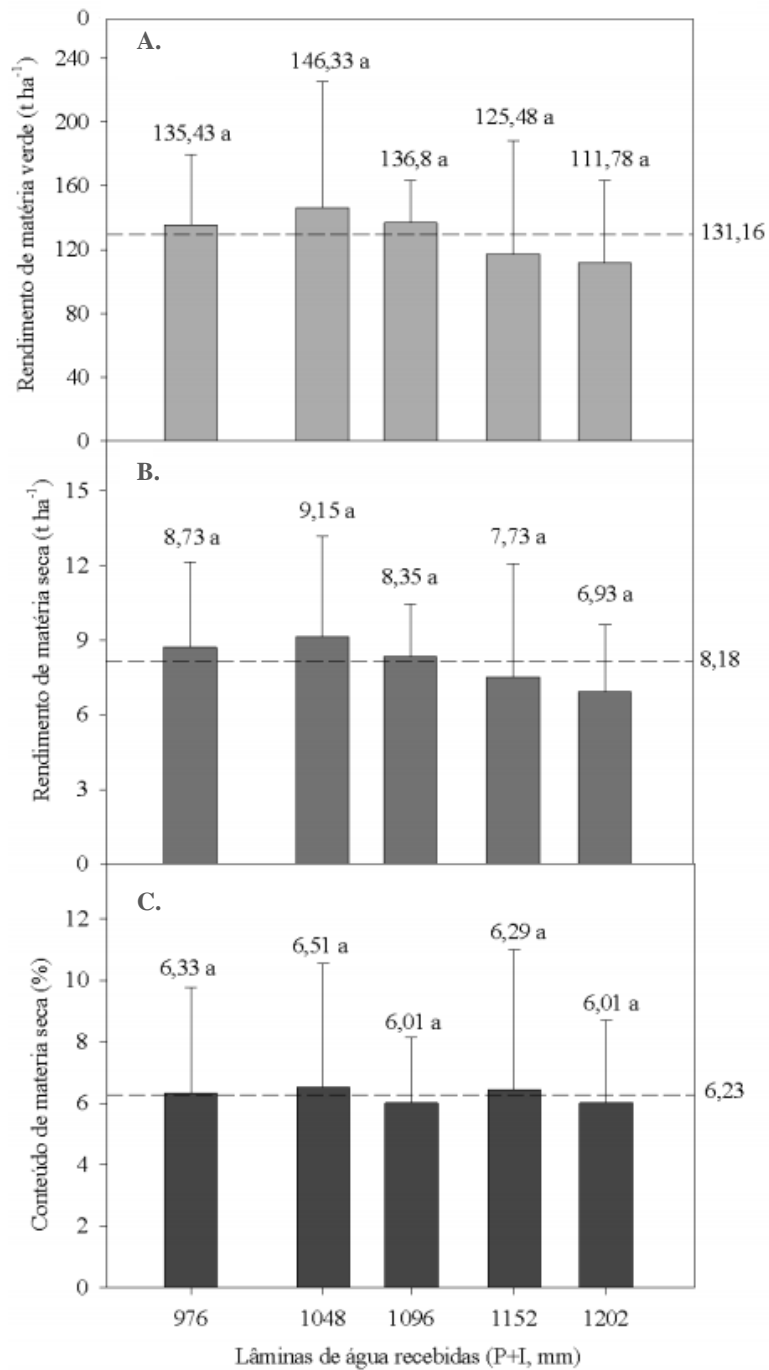


espécie e qualidade da radiação (CARON et al., 2012). Segundo Teixeira; Stone & Heinemann (2015), a diferença de absorção de radiação pelas plantas está atrelada a características morfológicas, como índice de área foliar, arranjo e inclinação das folhas, em relação à luz incidente. Pinheiro et al. (2014) afirmam que as espécies de palma exibem distinções da morfologia do dossel. Logo, podem apresentar variações na interceptação de radiação, e conseqüentemente na EUR.

## **2.6 Irrigação em palma forrageira**

Em regiões como o semiárido brasileiro, a prática da irrigação aparece como a alternativa principal para a manutenção da produção agropecuária de forma segura, visto que durante a maior parte do ano existe um déficit hídrico, dificultando a manutenção dos vegetais durante todo o ano (HOLANDA et al., 2016). Em função desse estresse hídrico, as plantas forrageiras ficam submetidas à produtividade cada vez mais limitada, logo, a irrigação torna-se fundamental, uma vez que responde de forma positiva sobre a produção de plantas forrageiras (VITOR et al., 2009; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021).

Estudos envolvendo o manejo da irrigação em palma, embora a cultura detenha uma baixa exigência hídrica, assim como parâmetros agrometeorológicos para esta forrageira, estão se desenvolvendo no Semiárido brasileiro (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021; JARDIM et al., 2021; LIMA et al., 2018; SILVA et al., 2017). Queiroz et al. (2015) expõem que distintas lâminas de irrigação não incrementaram a produção de fitomassa da palma, 131,16 e 8,18 t ha<sup>-1</sup> para matéria fresca e matéria seca, respectivamente, porém, essas apresentaram valores superiores aos adquiridos em condições de sequeiro (Figura 3).



**Figura 3.** (A) rendimento de matéria fresca, (B) rendimento de matéria seca, (C) conteúdo de matéria seca, do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes lâminas de irrigação no Semiárido brasileiro. Fonte: Queiroz et al. (2015).

Scalisi et al. (2016) concluíram que o déficit hídrico reduz tanto a espessura dos cladódios, como também, a condutância estomática e a dinâmica de crescimento dos mesmos. Na seca, os cladódios se apresentam com menor espessura devido à menor disponibilidade de água no solo. Por outro lado, as alterações de espessura dos cladódios irrigados estão mais relacionadas com a temperatura média do ar.

Devido à instabilidade climática da região, a agricultura de sequeiro representa alto risco econômico para o produtor no semiárido. Porém, torna-se necessário considerar que somente 2 a 3% do Semiárido brasileiro apresenta aptidão para irrigação, levando-se em conta a baixa disponibilidade e qualidade da água, assim como limitações do meio edáfico (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010). Logo, a irrigação mínima e regular torna-se de extrema importância para diminuir os impactos da irrigação com água de baixa qualidade.

## **2.7 Fenofase e momento de corte**

A fenologia da vegetação é referida como o estudo do tempo dos eventos biológicos recorrentes durante o crescimento da vegetação. Desempenha um papel importante na determinação da função e estrutura do ecossistema, influenciando as distribuições espaciais e temporais da produtividade do ecossistema, armazenamento de carbono terrestre e o processo de transferência para emissão de CO<sub>2</sub> (DRAGONI et al., 2011; GU et al., 2003; RICHARDSON et al., 2012). De acordo com Amorim et al. (2017), a fenologia da palma é um importante aspecto a ser avaliado, considerando a taxa de emissão de cladódios por ordem de surgimento (fenofase) ao longo do tempo.

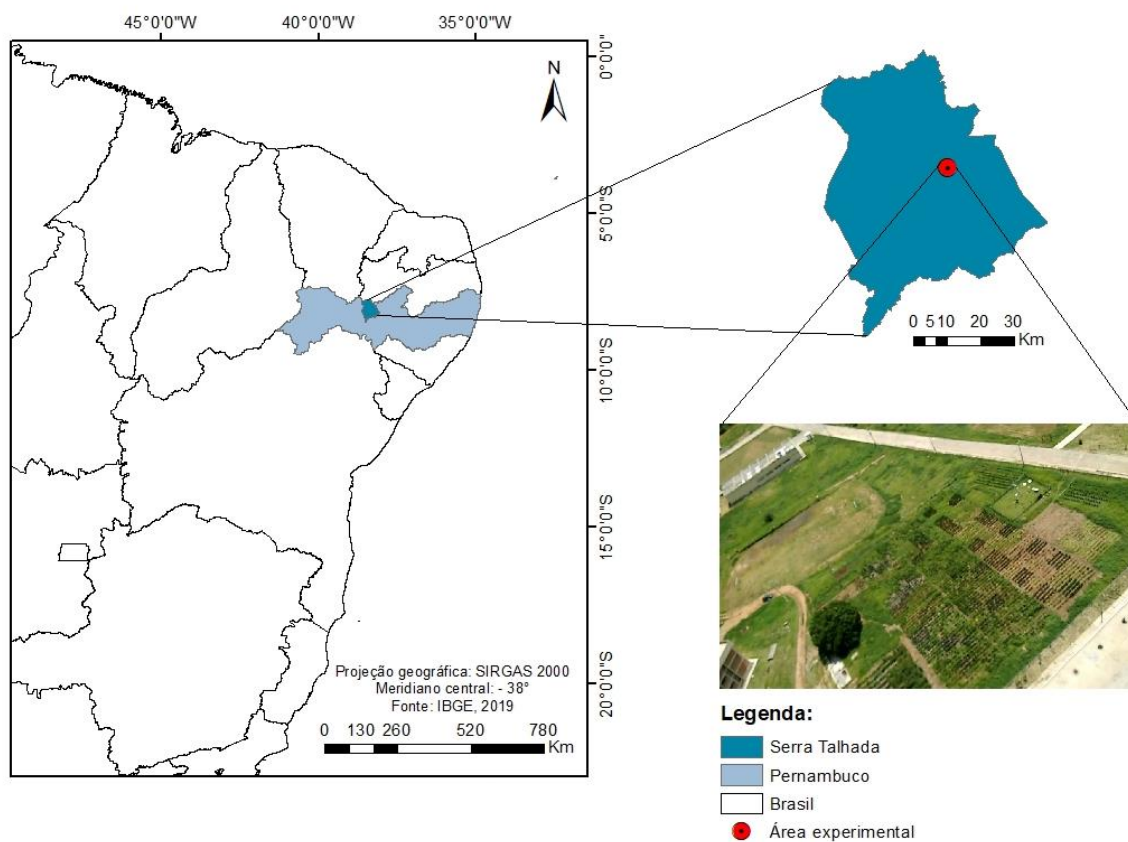
A análise biométrica de plantas é uma ferramenta simples e baixo custo, capaz de compreender e comparar as culturas em diferentes sistemas de cultivo. O uso de modelos com taxas e curvas de crescimento de plantas é extremamente importante, possibilitando melhor entendimento de informações relevantes do cultivo sob condições diversas (CONESA et al., 2017). Estudos de crescimento e desenvolvimento para clones de palma forrageira são escassos na literatura. No entanto, estes índices podem ser utilizados de forma simples para verificar o desempenho e a dinâmica da cultura em diferentes situações, possibilitando uma melhor tomada de decisão (AMORIM et al., 2017; QUEIROZ et al., 2015), visto que a qualidade e o desenvolvimento das plantas forrageiras

podem ser alterados quimicamente e fenologicamente em decorrência das mudanças climáticas locais e do manejo adotado (FANGUEIRO et al., 2017).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização e caracterização da área experimental**

O experimento foi conduzido no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras, situado na Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), Serra Talhada-PE (latitude 7°56'20" Sul; longitude 38°17'31" Oeste e altitude 499 m) (Figura 4). A localidade possui clima do tipo BSh segundo a classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2013; BECK et al., 2018), com médias de temperatura do ar variando entre 20,1 a 32,9 °C; apresentando irregularidade na distribuição espaço-temporal das chuvas com média de 642,1 mm ano<sup>-1</sup>, umidade relativa do ar aproximadamente de 62,5% e demanda atmosférica acima de 1.800 mm ano<sup>-1</sup> (ARAÚJO, 2011; PEREIRA et al., 2015).



**Figura 4.** Localização aérea do cultivo de palma forrageira, cultivada em vasos no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras (UFRPE/UAST), Serra Talhada-PE. Fonte: Autor.

Foram avaliados dois clones de palma forrageira, Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), conduzindo-se em vasos com capacidade de 21 L, sendo uma planta por vaso com 50% do cladódio basal inserido no solo. O solo utilizado nos vasos foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico, onde foi destorroado e peneirado antes de ser alocado nos vasos (JARDIM et al., 2021) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Propriedades físicas e químicas de Cambissola Háplico na profundidade de 0 – 20 e 20 – 40 cm em Serra Talhada, PE, Brasil.

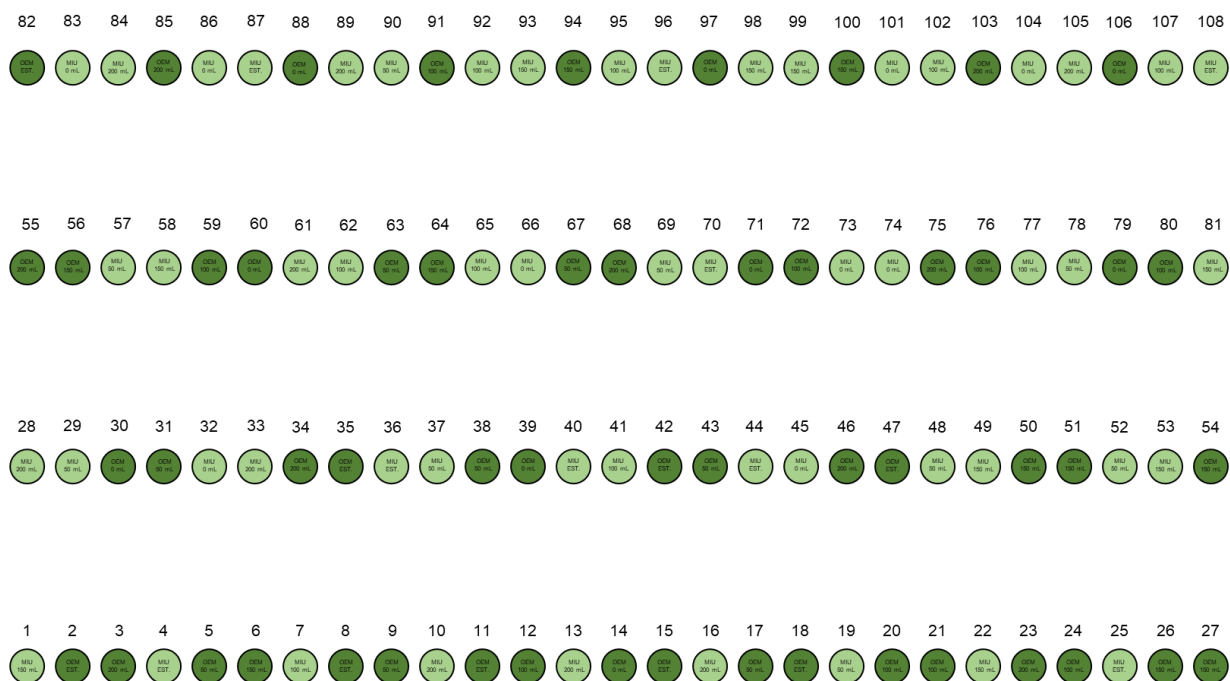
Propriedades físicas										
Prof.	pd	Ø	Areia			Silte		Argila		
cm	kg dm <sup>-3</sup>	%	-----			g kg <sup>-1</sup> -----				
0-20	1,45	42,27	828,6			148,3		23,2		
20-40	1,34	46,76	795,4			160,1		44,6		

Propriedades químicas										
Prof.	C.E.	pH	C	P	K	Na	Ca	Mg	CTC	V
cm	dS cm <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%
0-20	0,33	6,0	4,6	168,9	13,8	1,09	3,5	1,90	20,9	97,2
20-40	0,24	6,3	3,0	154,1	11,8	1,47	2,9	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.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 x 5 + 1, com dois clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU) irrigados), submetidos a cinco doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino (BioCapri), sendo 0, 50, 100, 150 e 200 mL planta<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>, e mais uma dose de esterco caprino (180 cm<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup>) como tratamento adicional. Todo experimento era composto por 9 repetições, totalizando 12 tratamentos e 108 unidades experimentais (Figura 5).



**Figura 5.** Arranjo espacial do experimento em vaso de dois clones de palma forrageira submetidos a diferentes doses de BioCapri mais uma dose de esterco em Serra Talhada, PE.

### 3.2 Formulação e características químicas do BioCapri

O esterco caprino utilizado para o preparo do BioCapri foi coletado na Fazenda Roça Velha no município de Floresta-PE, por se tratar de uma propriedade que cria exclusivamente caprinos em sistema extensivo. O BioCapri foi constituído por esterco caprino (30%), água (65%), melação de cana-de-açúcar (1%), leite bovino (1%), cinza vegetal (1%), extrato de fruto de goiaba (1%) e pó-de-rocha (1%). A fermentação do produto ocorreu da forma aeróbica (com presença de oxigênio) durante o período de trinta dias, onde o mesmo foi revolvido duas vezes ao dia. A análise química do BioCapri foi realizada no Laboratório de Análises Solo e Planta (LASP), Petrolina-PE, sendo apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2.** Análise química do biofertilizante líquido (BioCapri) aplicado em cultivo de clones de palma forrageira, em Serra Talhada, PE.

M.O	N	P	K	Ca	Mg	C	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	pH
----- (g L <sup>-1</sup> ) -----						----- (mg L <sup>-1</sup> ) -----							
6,4	1,5	0,19	4,0	2,5	0,3	3,7	100	9	100	5	4	240	7,1

### 3.3 Monitoramento meteorológico e aplicação da irrigação

O acompanhamento das variáveis meteorológicas foi realizado a partir de uma plataforma de coleta de dados pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br/portal/>), localizado a 10 m da área experimental. Os dados compreendem medidas horárias de: temperatura máxima, mínima e média do ar (°C dia<sup>-1</sup>); umidade relativa média, máxima e mínima do ar (% dia<sup>-1</sup>); radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); velocidade do vento (m s<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) e precipitação pluviométrica (mm dia<sup>-1</sup>).

O monitoramento da precipitação (P) foi realizado diariamente, para que em intervalos semanais fosse definido a quantidade de água a ser irrigada, sendo levado em consideração se ocorreram ou não eventos de precipitação antes da irrigação, descontando o volume parcial ou total da capacidade de água do vaso (2 L<sup>-1</sup> vaso<sup>-1</sup>). A água utilizada era proveniente de um poço artesiano, sendo classificada como C3 (RICHARDS et al., 1954) e apresentando condutividade elétrica de 1,62 dS m<sup>-1</sup>.

### 3.4 Monitoramentos do crescimento e produtividade da palma forrageira

Foram realizadas avaliações biométricas mensais para quantificar o crescimento e desenvolvimento da palma forrageira, constituindo-se na mensuração das características morfológicas da planta e do cladódio com o auxílio de fita métrica e paquímetro. Utilizaram-se quatro plantas representativas de cada tratamento para registo da altura da planta (AP), largura da planta (LP), número total de cladódio por planta (NTC), número de cladódio de primeira ordem (NC1), de segunda ordem (NC2) e de terceira ordem (NC3), à medida que o surgimento de novos cladódios em relação ao cladódio basal ocorre. Além disso, foram registrados: largura (LC), comprimento (CC), perímetro (PC) e



espessura (EC) dos cladódios, nas distintas ordens (JARDIM et al., 2020b). Finalmente, foi estimada a área dos cladódios (AC) por ordem e o índice de área do cladódio (IAC) de acordo com a metodologia proposta por Silva et al. (2014a) para os clones estudados.

A produtividade da palma forrageira foi obtida ao final de cada ciclo. Na ocasião do corte foi obtido a massa fresca total, realizando-se a pesagem da planta e selecionando dois cladódios representativos do terço médio para pesagem em laboratório com o auxílio de uma balança semi-analítica. Posteriormente, foram fracionados e condicionados em saco de papel em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C, até atingir peso seco constante, para a obtenção da massa seca (MS).

Para estabelecer a fenologia da palma forrageira, o início de uma nova fase foi considerado quando a taxa de produção de uma determinada ordem de cladódios foi ultrapassada pela taxa de produção de cladódios da ordem subsequente (AMORIM et al., 2017). Os dados obtidos de IAC foram utilizados para definir o momento ideal de corte da palma forrageira, adotando-se o momento quando a taxa de IAC atingisse 25% do pico máximo. Os graus-dia acumulados (GDA, °Cdia), foi calculado pela diferença entre os valores diários de temperatura média do ar (°C) e a temperatura base inferior da cultura (°C), considerado igual a 22 °C conforme Araújo Júnior et al. (2017). Após ajuste, as funções foram derivadas e usadas no cálculo diário das taxas de IAC ( $\partial IAC/\partial t$ ) (SOUZA et al., 2021).

### **3.5 Eficiência do uso dos recursos biofísicos**

A eficiência do uso da água (EUA) foi avaliada por meio da produtividade da água da cultura (PAC). Dado por meio da relação da biomassa e disponibilidade hídrica (precipitação + irrigação) conforme descrito por Silva et al. (2014b) na Equação 1. Tal índice representa a capacidade da cultura em converter os fotoassimilados em biomassa acumulada, por meio da água utilizada ou recebida ao longo do tempo (GEERTS; RAES, 2009).

$$PAC = \left[ \frac{MS}{\sum (P + I)} \right] \quad (1)$$

em que, PAC é expressa em  $\text{kg planta}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ; MS é o rendimento em massa seca da cultura ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e P+I é a precipitação pluviométrica somada a irrigação (mm) ao longo do ciclo da cultura.

A eficiência do uso da radiação (EUR,  $\text{g MJ}^{-1}$ ) foi calculada a partir da regressão entre a biomassa seca e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi), sendo os valores de RFAi acumulados por clone ao longo do ciclo estimados a partir da equação resultante da Lei de Beer.

$$I/I_0 = ND \cdot 0,44 \cdot Q_g \cdot \exp^{-k \cdot IAC} \quad (2)$$

em que, I é a radiação fotossinteticamente abaixo do dossel ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $I_0$  é a radiação solar a cima do dossel ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ); ND é o número de dias do ciclo; 0,44 é coeficiente angular da regressão linear da biomassa seca em função da radiação fotossinteticamente ativa acumulada;  $Q_g$  é a radiação solar global incidente ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ); k é o coeficiente de extinção obtido para os clones OEM (0,42) e MIU (0,57); e IAC é o valor do índice de área do cladódio ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ).

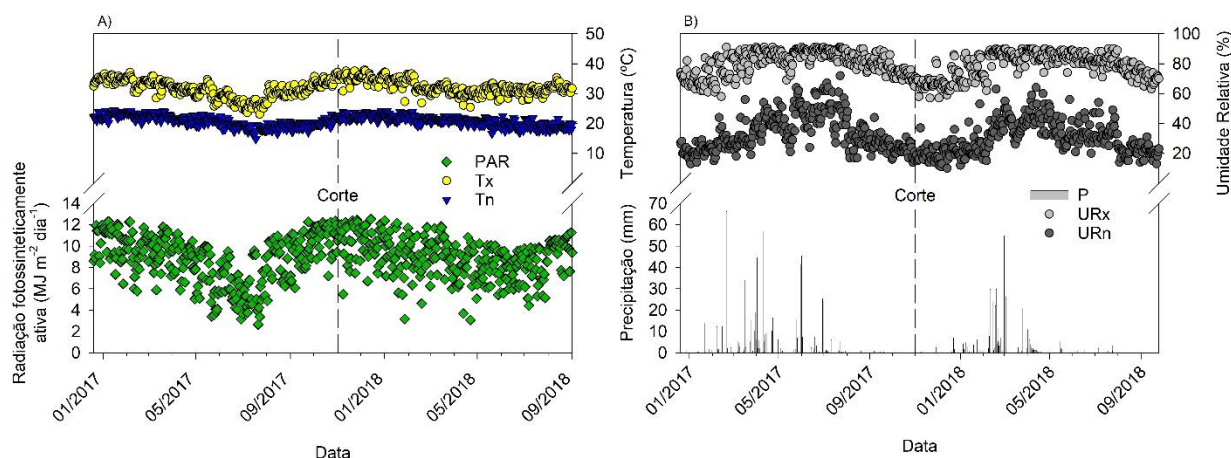
### **3.6 Análise estatística**

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett). A análise de variância (ANOVA) dos dados foi realizada por meio do teste F, ao nível de 5% de probabilidade. Quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Todas as análises foram feitas com auxílio da ferramenta computacional XLSTAT versão 9.0 (ADDINSOFT SARL, 2019; Paris, France).

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Variáveis ambientais**

Na Figura 6A, durante o primeiro ciclo produtivo da palma (20/12/2016 – 01/11/2017), a radiação fotossinteticamente ativa acumulada foi 2781 MJ m<sup>-2</sup>, com média 8,77 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, máximo diário de 12,35 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e o mínimo de 2,66 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. As temperaturas máxima e mínima observadas nesse período, foram 37,1 e 14,8 °C, respectivamente, sendo a média diária 25,4 °C. No segundo ciclo, as temperaturas máxima e mínima observadas foram 37,9 e 16,6 °C, respectivamente, sendo a média diária de temperatura de 26,1 °C, ligeiramente superior ao ciclo anterior (25,4 °C). A radiação fotossinteticamente ativa acumulada no segundo ciclo foi de 2993,34 MJ m<sup>-2</sup>, onde o acúmulo máximo em um dia foi 12,51 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, e o menor acúmulo diário sendo 3,07 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. A linha tracejada vertical na Figura 6A e 6B corresponde a data de colheita do primeiro ciclo (01/11/2017), dando início ao ciclo subsequente, que teve duração de 329 dias (01/11/2017 – 25/09/2018).



**Figura 6.** A) Temperatura máxima (Tx), mínima (Tn) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR); B) Umidade relativa máxima (URx), mínima (URn) e precipitação pluvial (P) no período de janeiro de 2017 a setembro de 2018, durante dois ciclos sucessivos de palma forrageira em Serra Talhada, PE, Brasil.

As variáveis umidade relativa máxima (URx) e mínima (URn) do ar, bem como a precipitação pluvial em dois ciclos sucessivos de palma forrageira (20/12/2016 – 01/11/2017 e 01/11/2017 – 25/09/2018) são apresentadas na Figura 6B. Ao longo do período experimental, o total acumulado de chuva foi de 1015,2 mm, sendo 624,6 mm no

primeiro ciclo produtivo da palma, e 390,6 mm no ciclo subsequente. Foi possível observar os maiores valores de URx durante os períodos chuvosos, chegando a atingir 91%, em contrapartida, os menores valores de URn se apresentaram no período com menor volume pluviométrico observado, chegando a atingir 10%.

## **4.2 Variáveis biométricas da palma forrageira**

### **4.2.1 Primeiro ciclo experimental**

As médias de altura de planta (AP), largura de planta (LP), número total de cladódios (NTC), número de cladódios de primeira ordem (NC1), número de cladódios de segunda ordem (NC2), comprimento de cladódio (CC), largura de cladódio (LC), espessura de cladódio (EC), perímetro de cladódio (PC), área do cladódio (AC) e índice de área do cladódio (IAC) dos clones de palma forrageira estão apresentadas na Tabela 3.

Não houve efeito de interação entre os tratamentos. Verificou-se que o esterco e as doses de biofertilizante líquido aplicadas (0, 50, 100, 150 e 200 mL) não afetaram a maioria das variáveis analisadas em ambos os clones, onde apenas as variáveis AP, CC e NC1, para o clone MIU, apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Em relação à AP do clone MIU, observou-se que a dosagem de 50 mL (59,70 cm) apresentou diferença estatística em relação as doses de 100 e 150 mL de BioCapri (43,75 e 43,75 cm, respectivamente), no entanto, quando comparada ao esterco e doses de 0 e 200 mL, não houve diferença.

Para CC do clone MIU, nota-se que quando submetido à 50 mL de BioCapri (22,25 cm), o CC é superior em relação à dose de 0 mL (16,10 cm) ( $p < 0,05$ ). Contudo, não houve diferença significativa quando se compara a dosagem de 50 mL, e as demais doses de 100, 150 e 200 mL de BioCapri, e o esterco. O NC1 apresentou diferença quando se comparou as doses de 100 e 150 mL no clone MIU, verificando-se que houve uma maior emissão de cladódios de primeira ordem para a dose de 100 mL (5,75 unidades) em relação à dose de 150 mL (2,00 unidades).

**Tabela 3.** Variáveis biométricas do primeiro ciclo de palma forrageira, clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU), adubados com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido (BioCapri).

Var.	Clone	Esterco	0 mL	50 mL	100 mL	150 mL	200 mL	CV (%)
AP	MIU	49,25 <sup>ab</sup>	48,50 <sup>ab</sup>	59,70 <sup>a</sup>	43,75 <sup>b</sup>	43,75 <sup>b</sup>	49,05 <sup>ab</sup>	14,52
	OEM	47,25 <sup>a</sup>	45,50 <sup>a</sup>	50,25 <sup>a</sup>	48,50 <sup>a</sup>	51,75 <sup>a</sup>	47,00 <sup>a</sup>	
LP	MIU	43,00 <sup>a</sup>	36,50 <sup>a</sup>	28,75 <sup>a</sup>	38,75 <sup>a</sup>	28,25 <sup>a</sup>	40,75 <sup>a</sup>	26,38
	OEM	41,25 <sup>a</sup>	49,50 <sup>a</sup>	37,75 <sup>a</sup>	38,75 <sup>a</sup>	41,50 <sup>a</sup>	41,75 <sup>a</sup>	
NTC	MIU	9,00 <sup>a</sup>	10,25 <sup>a</sup>	7,75 <sup>a</sup>	11,75 <sup>a</sup>	5,50 <sup>a</sup>	10,75 <sup>a</sup>	37,45
	OEM	5,5 <sup>a</sup>	8,00 <sup>a</sup>	6,00 <sup>a</sup>	6,75 <sup>a</sup>	7,00 <sup>a</sup>	6,50 <sup>a</sup>	
NC1	MIU	3,25 <sup>ab</sup>	4,50 <sup>ab</sup>	2,75 <sup>ab</sup>	5,75 <sup>a</sup>	2,00 <sup>b</sup>	3,75 <sup>ab</sup>	32,38
	OEM	4,25 <sup>a</sup>	5,75 <sup>a</sup>	4,75 <sup>a</sup>	5,75 <sup>a</sup>	6,00 <sup>a</sup>	5,25 <sup>a</sup>	
NC2	MIU	5,25 <sup>a</sup>	4,50 <sup>a</sup>	3,75 <sup>a</sup>	4,50 <sup>a</sup>	2,50 <sup>a</sup>	5,50 <sup>a</sup>	38,13
	OEM	0,50 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>	0,25 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,25 <sup>a</sup>	
CC	MIU	19,77 <sup>ab</sup>	16,10 <sup>b</sup>	22,25 <sup>a</sup>	16,70 <sup>ab</sup>	18,27 <sup>ab</sup>	17,22 <sup>ab</sup>	13,16
	OEM	22,40 <sup>a</sup>	21,00 <sup>a</sup>	22,75 <sup>a</sup>	23,97 <sup>a</sup>	23,15 <sup>a</sup>	22,57 <sup>a</sup>	
LC	MIU	9,15 <sup>a</sup>	8,47 <sup>a</sup>	9,10 <sup>a</sup>	8,97 <sup>a</sup>	9,20 <sup>a</sup>	8,40 <sup>a</sup>	9,70
	OEM	21,55 <sup>a</sup>	20,32 <sup>a</sup>	21,77 <sup>a</sup>	20,87 <sup>a</sup>	20,82 <sup>a</sup>	21,80 <sup>a</sup>	
EC	MIU	15,92 <sup>a</sup>	14,27 <sup>a</sup>	19,27 <sup>a</sup>	18,17 <sup>a</sup>	19,10 <sup>a</sup>	15,40 <sup>a</sup>	19,75
	OEM	19,60 <sup>a</sup>	18,27 <sup>a</sup>	18,65 <sup>a</sup>	17,20 <sup>a</sup>	23,12 <sup>a</sup>	20,57 <sup>a</sup>	
PC	MIU	44,52 <sup>a</sup>	37,25 <sup>a</sup>	49,97 <sup>a</sup>	38,47 <sup>a</sup>	42,25 <sup>a</sup>	40,10 <sup>a</sup>	11,96
	OEM	58,97 <sup>a</sup>	57,85 <sup>a</sup>	60,10 <sup>a</sup>	61,05 <sup>a</sup>	60,50 <sup>a</sup>	60,87 <sup>a</sup>	
AC	MIU	389,56 <sup>a</sup>	312,67 <sup>a</sup>	468,25 <sup>a</sup>	314,15 <sup>a</sup>	359,62 <sup>a</sup>	329,60 <sup>a</sup>	22,35
	OEM	818,62 <sup>a</sup>	812,40 <sup>a</sup>	792,20 <sup>a</sup>	710,57 <sup>a</sup>	677,12 <sup>a</sup>	758,57 <sup>a</sup>	
IAF	MIU	0,60 <sup>a</sup>	0,52 <sup>a</sup>	0,60 <sup>a</sup>	0,60 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,55 <sup>a</sup>	28,10
	OEM	0,97 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>	0,95 <sup>a</sup>	1,05 <sup>a</sup>	1,00 <sup>a</sup>	1,10 <sup>a</sup>	

Var.: variável. AP: altura de planta (cm). LP: largura de planta (cm). NTC: número total de cladódios (unidade). NC1: número de cladódios de primeira ordem. NC2: número de cladódios de segunda ordem. CC: comprimento de cladódio (cm). LC: largura de cladódio (cm). EC: espessura de cladódio (mm). PC: perímetro de cladódio (cm). AC: área do cladódio (cm<sup>2</sup>). IAC: índice de área do cladódio (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>). CV: coeficiente de variação (%). As médias seguidas pelas mesmas letras na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.2.2 Segundo ciclo experimental

Na Tabela 4, estão dispostas as médias de altura de planta (AP), largura de planta (LP), número total de cladódios (NTC), número de cladódios de primeira ordem (NC1), número de cladódios de segunda ordem (NC2), comprimento de cladódio (CC), largura de cladódio (LC), espessura de cladódio (EC), perímetro de cladódio (PC), área do cladódio (AC) e índice de área do cladódio (IAC) dos clones de palma forrageira, fertilizados com esterco caprino e as doses de BioCapri (0, 50, 100, 150 e 200 mL), onde não ocorreu efeito de interação entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 4.** Variáveis biométricas do segundo ciclo de palma forrageira, clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU), adubados com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido (BioCapri).

Var.	Clone	Esterco	0 mL	50 mL	100 mL	150 mL	200 mL	CV (%)
AP	MIU	40,77 <sup>a</sup>	38,11 <sup>a</sup>	38,11 <sup>a</sup>	36,22 <sup>a</sup>	36,67 <sup>a</sup>	36,33 <sup>a</sup>	17,48
	OEM	44,22 <sup>a</sup>	42,00 <sup>a</sup>	44,78 <sup>a</sup>	44,78 <sup>a</sup>	42,77 <sup>a</sup>	44,44 <sup>a</sup>	
LP	MIU	28,67 <sup>a</sup>	28,44 <sup>a</sup>	24,89 <sup>a</sup>	27,78 <sup>a</sup>	23,44 <sup>a</sup>	27,00 <sup>a</sup>	22,13
	OEM	38,22 <sup>a</sup>	39,00 <sup>a</sup>	39,22 <sup>a</sup>	38,89 <sup>a</sup>	37,00 <sup>a</sup>	38,11 <sup>a</sup>	
NTC	MIU	7,44 <sup>a</sup>	6,33 <sup>a</sup>	6,33 <sup>a</sup>	7,11 <sup>a</sup>	6,11 <sup>a</sup>	7,78 <sup>a</sup>	35,85
	OEM	7,67 <sup>a</sup>	8,33 <sup>a</sup>	7,67 <sup>a</sup>	7,33 <sup>a</sup>	7,22 <sup>a</sup>	8,22 <sup>a</sup>	
NC1	MIU	4,44 <sup>a</sup>	4,00 <sup>a</sup>	4,22 <sup>a</sup>	5,22 <sup>a</sup>	4,44 <sup>a</sup>	5,78 <sup>a</sup>	38,74
	OEM	6,67 <sup>a</sup>	7,33 <sup>a</sup>	6,67 <sup>a</sup>	6,33 <sup>a</sup>	6,22 <sup>a</sup>	7,22 <sup>a</sup>	
NC2	MIU	2,00 <sup>a</sup>	1,33 <sup>a</sup>	1,00 <sup>a</sup>	0,89 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>	1,00 <sup>a</sup>	61,25
	OEM	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	
CC	MIU	17,56 <sup>a</sup>	16,78 <sup>a</sup>	17,89 <sup>a</sup>	16,33 <sup>a</sup>	16,89 <sup>a</sup>	15,78 <sup>a</sup>	11,87
	OEM	22,33 <sup>a</sup>	21,89 <sup>a</sup>	22,00 <sup>a</sup>	22,89 <sup>a</sup>	23,22 <sup>a</sup>	21,44 <sup>a</sup>	
LC	MIU	9,11 <sup>a</sup>	10,00 <sup>a</sup>	9,22 <sup>a</sup>	10,11 <sup>a</sup>	10,22 <sup>a</sup>	8,78 <sup>a</sup>	10,56
	OEM	22,67 <sup>a</sup>	22,44 <sup>a</sup>	22,89 <sup>a</sup>	23,33 <sup>a</sup>	22,56 <sup>a</sup>	21,78 <sup>a</sup>	
EC	MIU	21,67 <sup>a</sup>	19,44 <sup>a</sup>	21,33 <sup>a</sup>	22,22 <sup>a</sup>	21,67 <sup>a</sup>	20,33 <sup>a</sup>	18,70
	OEM	21,11 <sup>a</sup>	20,89 <sup>a</sup>	20,11 <sup>a</sup>	21,11 <sup>a</sup>	20,22 <sup>a</sup>	20,56 <sup>a</sup>	
PC	MIU	38,89 <sup>a</sup>	38,22 <sup>a</sup>	39,89 <sup>a</sup>	39,33 <sup>a</sup>	38,44 <sup>a</sup>	35,33 <sup>a</sup>	11,63
	OEM	57,67 <sup>a</sup>	57,78 <sup>a</sup>	57,78 <sup>a</sup>	58,56 <sup>a</sup>	58,11 <sup>a</sup>	54,11 <sup>a</sup>	
AC	MIU	293,33 <sup>a</sup>	284,56 <sup>a</sup>	286,89 <sup>a</sup>	290,67 <sup>a</sup>	271,11 <sup>a</sup>	231,78 <sup>a</sup>	21,37
	OEM	713,44 <sup>a</sup>	692,11 <sup>a</sup>	717,89 <sup>a</sup>	753,00 <sup>a</sup>	748,44 <sup>a</sup>	673,22 <sup>a</sup>	
IAF	MIU	0,11 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	51,19
	OEM	1,00 <sup>a</sup>	1,00 <sup>a</sup>	1,11 <sup>a</sup>	1,11 <sup>a</sup>	1,00 <sup>a</sup>	1,00 <sup>a</sup>	

Var.: variável. AP: altura de planta (cm). LP: largura de planta (cm). NTC: número total de cladódios (unidade). NC1: número de cladódios de primeira ordem. NC2: número de cladódios de segunda ordem. CC: comprimento de cladódio (cm). LC: largura de cladódio (cm). EC: espessura de cladódio (mm). PC: perímetro de cladódio (cm). AC: área do cladódio (cm<sup>2</sup>). IAC: índice de área do cladódio (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>). As médias seguidas pelas mesmas letras na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Diferentemente do primeiro ciclo experimental, onde observou-se diferença estatística para as variáveis AP, CC e NC1, no segundo ciclo não se constatou efeito dos biofertilizantes em nenhuma variável analisada (Tabela 4).

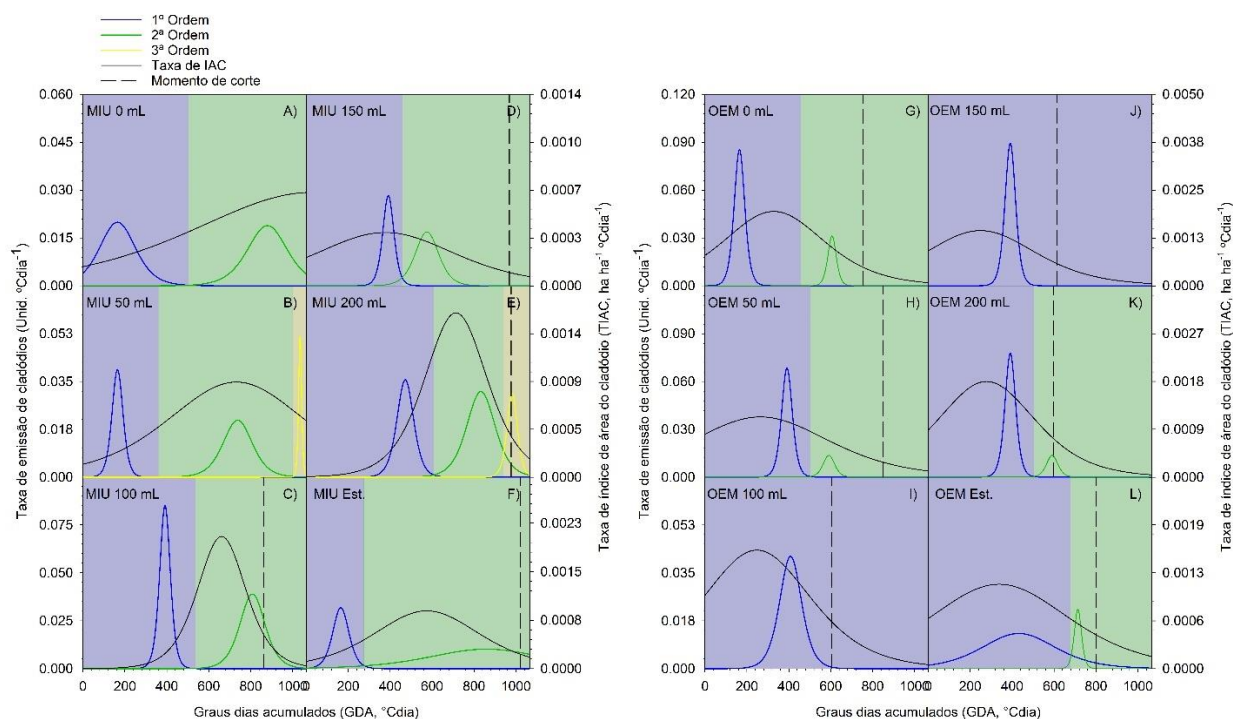
### 4.3 Fases fenológicas e momento de corte

#### 4.3.1 Primeiro ciclo da cultura

Na Figura 8 é possível observar que apenas o clone MIU, submetido a aplicação mensal de BioCapri em doses de 50 e 200 mL planta<sup>-1</sup> (Figura 7B e 7E) apresentou a fase F3. Além disso, verifica-se um padrão predominante, onde a taxa máxima de

emissão de cladódios de primeira ordem é superior ao de segunda ordem em ambos os clones, com exceção dos tratamentos com OEM submetido a 100 e 150 mL planta<sup>-1</sup> (Figura 7I e 7K). Nessas condições não houve a emissão de cladódios de segunda ordem. O clone OEM fertilizado com esterco (Figura 7L), teve um ápice da taxa de emissão de cladódios de segunda ordem superior aos de primeira ordem.

De forma geral, na fase 1, para o clone MIU, a aplicação de 100 mL planta<sup>-1</sup> de BioCapri proporcionou uma maior taxa máxima de emissão de cladódio (0,085 unid. °Cdia<sup>-1</sup>) (Figura 8C). Já para o clone OEM, a maior taxa máxima de emissão de cladódio obtida foi na utilização de 150 mL de BioCapri (0,089 unid. °Cdia<sup>-1</sup>) (Figura 7J). Na fase 2, a taxa máxima para cladódios de segunda ordem dos clones MIU e OEM foi 0,038 e 0,031 unid. °Cdia<sup>-1</sup>, nos tratamentos 100 e 0 mL planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Apenas o clone MIU apresentou a fase 3, obtendo maior taxa máxima de emissão de cladódio quando submetido a dose de 50 mL (0,05 unid. °Cdia<sup>-1</sup>).



**Figura 7.** Fases fenológicas e momento de corte do primeiro ciclo dos clones de palma forrageira (Miúda – MIU e Orelha de Elefante Mexicana – OEM), adubadas com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino.

A duração das fenofases em função das condições submetidas às plantas e dos graus-dia acumulados também chamou atenção. Na Figura 7F, pode observar que a duração da fase 1 foi curta em relação aos outros tratamentos (278 °Cdia), fazendo com que a fase 2 se prolongasse ao longo do ciclo, demonstrando uma taxa de emissão de cladódios de segunda ordem sem variações abruptas. Vale ressaltar nesse tratamento, houve alcance da taxa máxima de forma suave, como também, um prolongamento da mesma. Por outro lado, a Figura 8E demonstra um prolongamento da duração da fase 1, atingindo a maior taxa de emissão de cladódios em relação a fase 2 e 3 do mesmo tratamento.

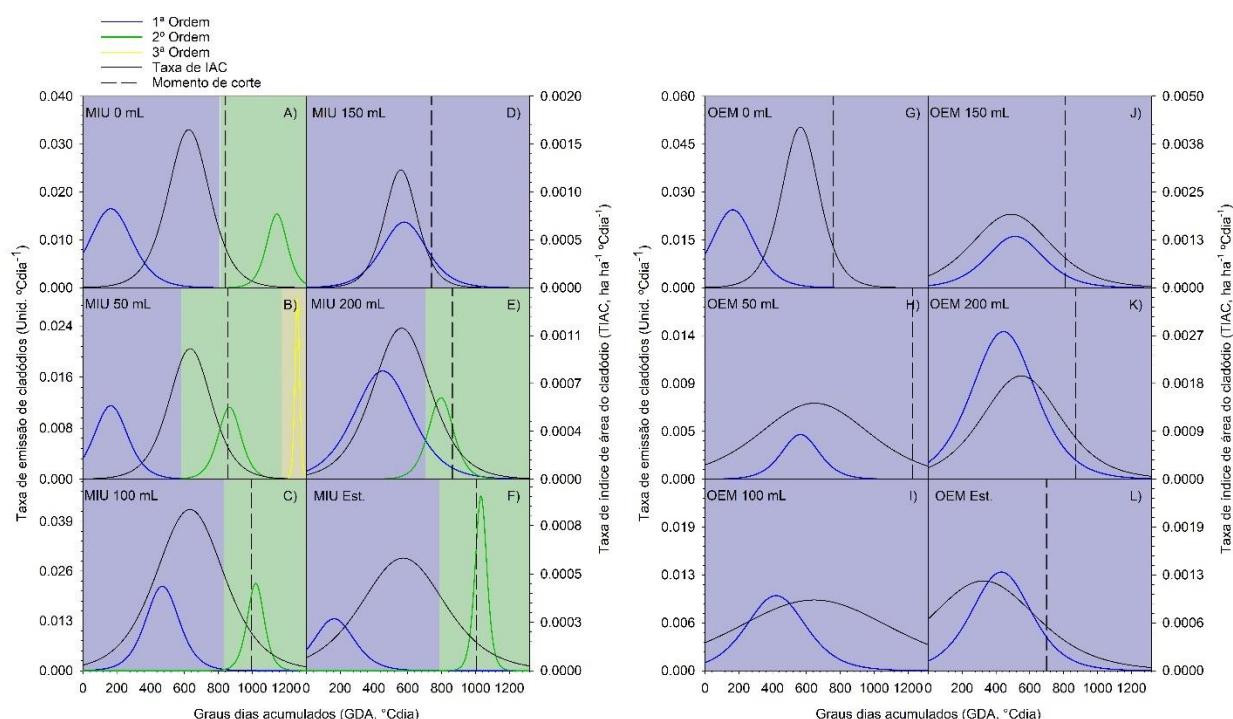
No que diz respeito ao momento ideal de corte da palma forrageira, onde levou-se em consideração a taxa de índice de área do cladódio (Figura 7). Diante disso, verificou-se que o clone MIU submetido a 0 mL, e a dosagem de 50 mL, não atingiram o momento ideal de corte, visto que a taxa de IAC se manteve superior a 25% (Figura 7A e 7B, respectivamente). Além disso, para o clone MIU não houve grande variação para o momento de corte, diferentemente do clone OEM, que apresentou grande variação no momento ideal de corte, sendo antecipado nas dosagens de 100 e 150 mL (Figura 7I e 7J), respectivamente. As plantas destes tratamentos não atingiram a fase 2, por outro lado, em geral houve uma tendência de prolongamento do momento de corte nos tratamentos que apresentaram a fase 2 para o clone OEM.

#### **4.3.2 Segundo ciclo da cultura**

Na Figura 8 são apresentados as fases fenológicas e o momento de corte do segundo ciclo dos clones de palma forrageira, adubadas com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino. Em um primeiro momento, a ausência da fase 2 no clone OEM para todos os tratamentos chama atenção, visto que, no ciclo anterior, essa fase esteve presente. Para o clone MIU, apenas as plantas submetidas à 150 mL de BioCapri não apresentou a fase 2. Além disso, quando se aplicou 50 mL de biofertilizante, verificou-se uma curta fase 3 com uma maior taxa de emissão de cladódios de terceira em relação à cladódios de segunda e primeira ordem nesse tratamento (Figura 8B). Na fase dois, apenas o tratamento com esterco apresentou



uma taxa de emissão de cladódios de segunda ordem superior a taxa de primeira ordem (0,04 e 0,01 unid. °Cdia<sup>-1</sup> respectivamente) (Figura 8F). Por outro lado, a condição imposta não demonstrou grandes diferenças no ápice da taxa de emissão entre cladódios de primeira e segunda ordem no restante dos tratamentos. Na fase 1, o pico maior de emissão de cladódios (0,025 unid. °Cdia<sup>-1</sup>) foi no tratamento OEM 0 mL (Figura 8G).



**Figura 8.** Fases fenológicas e momento de corte do segundo ciclo dos clones de palma forrageira, adubadas com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino.

Em relação ao momento ideal de corte da palma, verificou-se que apenas o clone OEM fertilizado com 100 mL de BioCapri (Figura 8I) não apresentou um momento ideal de corte, onde a TIAC não atingiu 25% do seu ápice. Já o tratamento OEM 50 mL, teve seu momento de corte prolongado em relação aos demais tratamentos (1299 °Cdia). Para o clone MIU, observou-se que o momento de corte foi se prolongando à medida que a dose de biofertilizante foi aumentada, tornando-se suas respostas similares ao tratamento MIU com esterco (Figura 8F), onde se observou o momento ideal mais prolongado para esse clone.

#### 4.4 Rendimento de forragem

É possível observar na Tabela 5 o rendimento de massa seca, assim como o conteúdo de massa seca de dois clones de palma forrageira em ciclos sucessivos, adubados com esterco caprino e diferentes doses de BioCapri. Entre os dados apresentado, onde não houve interação entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 5.** Rendimento de massa seca (MS, g planta<sup>-1</sup>) e conteúdo de massa seca (CMS) da palma forrageira em ciclos sucessivos, clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Miúda (MIU), adubados com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido (BioCapri).

1° ciclo experimental								
Variável	Clone	Esterco	0 mL	50 mL	100 mL	150 mL	200 mL	CV (%)
MS	MIU	295,79 <sup>a</sup>	222,86 <sup>a</sup>	270,94 <sup>a</sup>	239,32 <sup>a</sup>	248,43 <sup>a</sup>	263,45 <sup>a</sup>	39,30
	OEM	252,26 <sup>a</sup>	180,50 <sup>a</sup>	248,42 <sup>a</sup>	206,98 <sup>a</sup>	212,69 <sup>a</sup>	245,00 <sup>a</sup>	
CMS	MIU	0,20 <sup>ab</sup>	0,24 <sup>a</sup>	0,18 <sup>b</sup>	0,19 <sup>ab</sup>	0,18 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>	20,87
	OEM	0,18 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,16 <sup>a</sup>	0,16 <sup>a</sup>	0,16 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	
2° ciclo experimental								
Variável	Clone	Esterco	0 mL	50 mL	100 mL	150 mL	200 mL	CV (%)
MS	MIU	130,43 <sup>a</sup>	104,21 <sup>a</sup>	106,77 <sup>a</sup>	124,82 <sup>a</sup>	118,14 <sup>a</sup>	124,96 <sup>a</sup>	35,57
	OEM	223,46 <sup>a</sup>	246,74 <sup>a</sup>	234,07 <sup>a</sup>	229,44 <sup>a</sup>	195,72 <sup>a</sup>	230,46 <sup>a</sup>	
CMS	MIU	0,14 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,16 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	38,42
	OEM	0,12 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	

CV: coeficiente de variação. As médias seguidas pelas mesmas letras na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No primeiro ciclo experimental, a palma forrageira não foi afetada pelos distintos tratamentos quanto ao rendimento de massa seca. No entanto, quando se compara o CMS, observa-se que o clone MIU com BioCapri (0 mL), apresenta maior CMS (24%), quando comparado às doses de 50, 150 e 200 mL (18, 18 e 17%, respectivamente) ( $p < 0,05$ ). Não houve diferença significativa quando comparado com a dose de 100 mL e esterco. Já no segundo ciclo experimental, não se constatou diferença significativa para MS e CMS nos diferentes tratamentos (Tabela 5).

#### 4.5 Eficiência do uso dos recursos biofísicos

Na Tabela 6 é possível observar a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi) ao longo do ciclo, eficiência do uso da radiação (EUR) e eficiência do uso da água (EUA) em dois ciclos de palma forrageira, adubada com esterco caprino e diferentes doses de BioCapri. Conforme os dados mostrados, não houve interação entre os tratamentos avaliados.

É possível observar que na Tabela 6, não se constatou efeito dos biofertilizantes sobre os tratamentos avaliados para RFAi, EUR e EUA em ambos os clones e ciclos. De forma geral, no primeiro ciclo, a média de RFAi pelo clone MIU ( $439,79 \text{ MJ m}^{-2}$ ) foi inferior a RFAi pelo clone OEM ( $706,54 \text{ MJ m}^{-2}$ ). Porém, quando verificamos a EUR, encontra-se um comportamento inversamente proporcional, onde o clone MIU apresenta uma melhor capacidade de converter radiação fotossintética em massa seca ( $0,57 \text{ g MJ}^{-1}$ ) quando comparado ao clone OEM ( $0,32 \text{ g MJ}^{-1}$ ). No segundo ciclo, o clone OEM também apresentou maior capacidade de interceptação de radiação solar pelo dossel ( $904,79 \text{ MJ m}^{-2}$ ). Já para o clone MIU ( $436,12 \text{ MJ m}^{-2}$ ) essa interceptação foi inferior. Ao observar a EUR, notou-se que não houve grandes diferenças entre o clone MIU ( $0,28 \text{ g MJ}^{-1}$ ) e o clone OEM ( $0,27 \text{ g MJ}^{-1}$ ).

Para a EUA, as médias harmônicas dos clones MIU ( $2,31 \text{ g L}^{-1}$ ) e OEM ( $1,94 \text{ g L}^{-1}$ ) no primeiro ciclo, também não apresentaram grandes distorções. Já para o segundo ciclo, notou-se uma maior capacidade de converter água em massa seca entre o clone MIU ( $1,41 \text{ g L}^{-1}$ ) e OEM ( $2,58 \text{ g L}^{-1}$ ).

**Tabela 6.** Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi, MJ m<sup>-2</sup>), eficiência do uso da radiação (EUR, g MJ<sup>-1</sup>) e eficiência do uso da água (EUA, g L<sup>-1</sup>) da palma forrageira em ciclos sucessivos, adubada com esterco caprino e diferentes doses de biofertilizante líquido a base de esterco caprino.

1º ciclo da cultura				
Clone	Fonte de nutrientes	RFAi	EUR	EUA
MIU	Esterco	496,26a	0,48a	2,09a
	0 mL	430,75a	0,44a	1,89a
	50 mL	441,00a	0,62a	2,51a
	100 mL	476,50a	0,60a	2,70a
	150 mL	341,50a	0,62a	1,93a
	200 mL	452,75a	0,68a	2,76a
OEM	Esterco	679,00a	0,35a	2,10a
	0 mL	670,00a	0,28a	1,03a
	50 mL	625,00a	0,46a	2,33a
	100 mL	756,75a	0,27a	1,94a
	150 mL	737,00a	0,29a	2,00a
	200 mL	771,50a	0,31a	2,24a
2º ciclo da cultura				
Clone	Fonte de nutrientes	RFAi	EUR	EUA
MIU	Esterco	429,50a	0,28a	1,36a
	0 mL	420,50a	0,29a	1,39a
	50 mL	357,75a	0,22a	0,91a
	100 mL	461,75a	0,31a	1,63a
	150 mL	400,25a	0,37a	1,66a
	200 mL	547,00a	0,25a	1,53a
OEM	Esterco	927,25a	0,27a	2,92a
	0 mL	969,75a	0,27a	3,07a
	50 mL	873,00a	0,27a	2,63a
	100 mL	775,00a	0,26a	2,16a
	150 mL	946,50a	0,19a	2,13a
	200 mL	937,25a	0,24a	2,57a

As médias seguidas pelas mesmas letras na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 Rendimento de forragem

Nossos resultados evidenciaram que o uso ou não de esterco e as doses de BioCapri não afetou os parâmetros produtivos da palma forrageira. No primeiro ciclo, não houve uma grande diferença em relação à MS dos dois clones, onde a OEM produziu em média 224,31 g planta<sup>-1</sup> e a MIU 256,80 g planta<sup>-1</sup>. No entanto, durante o segundo ciclo verificou-se que o clone OEM apresentou uma produtividade média superior ao clone MIU (226,65 e 118,22 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 5). Esse resultado, pode ser uma resposta ao baixo número cladódios emitidos pelo clone MIU em relação ao clone OEM no segundo ciclo (Tabela 4). É possível encontrar respostas semelhantes na literatura, onde o clone OEM, do gênero *Opuntia* apresenta produtividade de matéria fresca e seca superior quando comparado ao clone MIU, do gênero *Nopalea* (SILVA et al., 2015b). Araújo Júnior et al. (2021), avaliando a produtividade de clones de palma forrageira no semiárido brasileiro, também verificou que a OEM obteve melhor rendimento em MF e MS.

Já em relação ao CMS, em ambos os ciclos o clone MIU apresentou valores superiores ao OEM, com destaque para o tratamento sem uso de esterco ou biofertilizante no primeiro ciclo, onde atingiu 24% de MS em sua composição, já no segundo ciclo, a dose 200 mL de BioCapri apresentou 17% de MS. Esses valores observados são superiores aos da literatura, onde normalmente encontra-se valores entre 8 e 12% para ambos os clones (SILVA et al., 2014; SCALISI et al., 2016). O fato das plantas apresentarem um elevado CMS, pode ser decorrente da sua eficiência na conversão dos recursos naturais. Devido ao experimento ser conduzido em vasos, o aproveitamento de água, nutrientes e radiação, como também não ter competição intraespecífica/interespecífica direta, as plantas podem maximizar sua performance de rendimento.

### 5.2 Variáveis biométricas da palma forrageira

Embora os efeitos do esterco e das doses de biofertilizante líquido aplicadas (0, 50, 100, 150 e 200 mL) foram mínimos em relação as variáveis analisadas, observou-se que houve uma diferença para cada clone. O clone OEM se sobressaiu em variáveis como CC, LC, PC, LP, AC e IAF (Tabela 3 e 4). Isso ocorre devido as alterações nas variáveis morfométricas da palma forrageira, não se deve apenas às práticas de manejo adotadas na cultura, mas também às características específicas de cada clone (DUBEUX et al., 2006; SILVA et al., 2010). Vários estudos já demonstraram a superioridade do clone OEM sobre outros clones, inclusive MIU, em relação à produtividade, AC e IAC (PINHEIRO et al., 2014; SILVA et al., 2014a, 2015b). O IAC demonstra a relação entre a área total dos cladódios e a área ocupada pela planta, que está diretamente ligada à AC. Para o clone OEM, essas variáveis de crescimento do cladódio, como o CC e do PC, são as mais significativas para o aumento da área fotossintetizante da planta, auxiliando na interceptação e conversão de biomassa (SILVA et al., 2014a).

No primeiro ciclo experimental, verificou-se uma diferença na emissão total de cladódios por parte do clone MIU (9,17 unidades) em relação ao OEM (6,62 unidades), o que inclusive proporcionou uma similaridade na MS produzida entre os dois clones. Com destaque para as doses 100 e 200 mL de BioCapri, apresentando um NTC de 11,75 e 10,75 cladódios por planta, respectivamente. Esses resultados também estão diretamente relacionados às características de cada clone, em que, o clone Miúda apresenta uma maior quantidade de cladódios que clones do gênero *Opuntia*. Barbosa et al., (2018), avaliando a influência da morfologia dos cladódios na formação do dossel das plantas de palma forrageira, verificou que o crescimento dos cladódios de segunda e terceira ordem contribuiu de forma mais significativa para a formação do dossel do clone MIU; já o clone OEM, os cladódios de primeira ordem apresentou uma maior contribuição na formação do dossel. Esses dados estão de acordo com o comportamento observado no experimento, onde o clone OEM em geral, apresentou uma média de cladódios de primeira ordem superior ao clone MIU. No entanto, o clone MIU em média obteve um maior NC2 (Tabela 3 e 4).

### **5.3 Fenofases e momento ideal de corte da palma forrageira**

De acordo com os resultados dessa pesquisa no primeiro ciclo experimental, verificou-se um comportamento padrão na sucessão de aparecimento dos cladódios, onde a taxa de emissão de cladódios de primeira ordem em relação aos de segunda, e terceira ordem foi superior. No segundo ciclo, não se observou grandes diferenças em relação ao pico da taxa de primeira e de segunda ordem. Souza et al. (2021), avaliando o crescimento, fenologia e momento de corte da palma forrageira em campo no semiárido brasileiro, obteve resultados distintos, onde a maior taxa observada foi para cladódios de segunda ordem.

A causa das plantas apresentarem essas características, é decorrente do investimento maior em cladódios de primeira ordem, e devido ao espaço limitado para o sistema radicular, houve um declínio na emissão de cladódios de segunda e terceira ordem. Com destaque para o clone OEM, que no segundo ciclo, não apresentou a fase 2, visto que emitiu um maior número de cladódios de primeira ordem, como podemos observar na Tabela 4, e ao longo do ciclo. Isso pode ter ocorrido devido os cladódios de ordem um, ser o que mais contribui para a formação do dossel da OEM, de acordo com Barbosa et al. (2018).

De forma geral, tanto para o primeiro quanto para o segundo ciclo experimental, o momento de corte ideal para a palma forrageira foi logo após o pico máximo de emissão de cladódios de segunda ordem, como pode-se observar na Figura 7 e 8. Assim, não seria vantajoso para o agricultor aguardar uma grande emissão de cladódios terciários para fazer a colheita, uma vez que, são os cladódios secundários que contribuem efetivamente no acúmulo de matéria seca (SOUZA et al., 2021).

#### **5.4 Eficiência do uso dos recursos biofísicos pela palma forrageira**

Na Tabela 6, foi possível observar que em ambos os ciclos de palma forrageira, o clone OEM se sobressaiu em relação a RFAi, independente do uso ou não de esterco e biofertilizante, esse resultado pode estar atrelado às características estruturais da planta, possibilitando uma maior AC e conseqüentemente uma maior interceptação de radiação solar (QUEIROZ et al., 2015; SILVA et al., 2009). Por outro lado, quando se observa a EUR, verifica-se que o clone MIU apresenta melhor eficiência, esse comportamento está

diretamente relacionado ao CMS, apresentado na Tabela 5, que foi superior em relação ao clone OEM e também, a RFAi que foi inferior, proporcionando uma melhor capacidade de conversão de radiação em fitomassa.

Em relação à EUA, não se observou diferença em nenhum ciclo entre os tratamentos avaliados. Silva et al. (2014b) avaliando a eficiência do uso da água de clones de palma forrageira concluiu que a OEM é um clone que se destaca de forma positiva na EUA em relação á clones como IPA Sertânia e MIU quando cultivados em sequeiro. Queiroz et al. (2016), verificou também que a eficiência no uso de água pela palma forrageira diminui à medida que se aumenta a disponibilidade hídrica para a cultura. Por se tratar de uma planta, a palma forrageira quando disponibiliza água, suas respostas são maximizadas, contudo, o excesso de água pode ocasionar estabilidade no uso da água, fazendo que a planta não responda positivamente ao incremento hídrico.

## **6. CONCLUSÕES**

Os resultados do presente estudo indicam que o aporte de biofertilizante, assim como o uso de esterco caprino não causou efeitos significativos no rendimento de forragem, onde verificou-se que a maior diferenciação ocorreu no fator clones, visto que, a OEM apresentou em média um rendimento superior ao clone MIU em ambos os ciclos.

O uso ou não de BioCapri e esterco, também não afetou as características estruturais da palma, que dependeram do clone para se diferenciar, onde a OEM se sobressaiu.

O momento de corte da palma forrageira ocorre logo após o ápice da taxa de emissão de cladódios de segunda ordem.

O clone OEM apresentou maior interceptação de radiação devido a sua maior área de cladódios proveniente da arquitetura da mesma, além de melhor eficiência no uso da água, o e clone MIU apresentou maior capacidade de converter radiação em massa seca.

O desenvolvimento de pesquisas futuras com palma forrageira e suas eficiências dos recursos naturais são essenciais para documentar, e descrever as relações dessa cultura com as condições ambientais e de fertilidade do solo.



## REFERÊNCIAS

Addinsoft SARL (2019) XLSTAT software, version 9.0. Addinsoft. Addinsoft SARL, Paris (<https://www.xlstat.com/fr/>).

ALTHOFF, T. D. et al. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 360, p. 367–375, 2016.

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

AMORIM, D. M. et al. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.

ANGELOTTI, F.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; SÁ, I. B. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, p. 1275–1291, 2011.

AQUINO, R. et al. A realidade da caprinocultura e ovinocultura no semiárido brasileiro: um retrato do sertão do Araripe, Pernambuco. **PubVet**, v. 10, n. 4, p. 271–281, 2016.

ARAÚJO JÚNIOR, G. D. 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, p. 1–12, 2021.

ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do nordeste do Brasil: Questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Revista Rios Eletrônica**, v. 5, n. 5, p. 89–98, 2011.

AWAZI, N. P.; TCHAMBA, M. N.; AVANA, T. M. L. Climate change resiliency choices of small-scale farmers in Cameroon: determinants and policy implications. **Journal of Environmental Management**, v. 250, n. September, p. 109560, 2019.

BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L. Influence of rainfall variability on the vegetation

dynamics over Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 124, p. 377–387, 2016.

BARBOSA, M. L. et al. The influence of cladode morphology on the canopy formation of forage cactus plants. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 180–190, 2018.

BECK, H. E. et al. Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, p. 1–12, 2018.

BERTOLOZZI-CAREDIO, D. et al. Key steps and dynamics of family farm succession in marginal extensive livestock farming. **Journal of Rural Studies**, v. 76, n. May, p. 131–141, 2020.

BODNER, G.; NAKHFOROOSH, A.; KAUL, H. P. Management of crop water under drought: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 2, p. 401–442, 2015.

CÂNDIDO, M. J. D.; ARAÚJO, G. G. L. DE; CAVALCANTE, M. A. B. Pastagens no ecossistema Semi-árido Brasileiro: atualização e perspectivas futuras. In: **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. Anais... Goiânia : Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 42, p. 85 – 94, 2005.

CAO, X. et al. Hybrid analytical framework for regional agricultural water resource utilization and efficiency evaluation. **Agricultural Water Management**, v. 231, n. August 2019, p. 106027, 2020.

CARDADOR-MARTÍNEZ, A.; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, C.; SANDOVAL, G. Revalorization of cactus pear (*Opuntia* spp.) wastes as a source of antioxidants. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 3, p. 782–788, 2011.

CARDOSO, D. B. et al. Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 247, n. October 2018, p. 23–31, 2019.

CARON, B. O. et al. Eficiência de Conversão da Radiação Fotossinteticamente Ativa Interceptada em Fitomassa de Mudanças de Eucalipto. **Revista Arvore**, v. 36, n. 5, p. 833–

842, 2012.

CARON, B. O. et al. EFFICIENCY OF THE USE OF SOLAR RADIATION FOR PLANTS *Ilex paraguariensis*. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 257–265, 2014.

CHALLINOR, A. J. et al. Current warming will reduce yields unless maize breeding and seed systems adapt immediately. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 10, p. 954–958, 2016.

CONESA, M. et al. Growth capacity in wild tomatoes and relatives correlates with original climate in arid and semi-arid species. **Environmental and Experimental Botany**, v. 141, n. January, p. 181–190, 2017.

CONWAY, S. F. et al. Uncovering obstacles: The exercise of symbolic power in the complex arena of intergenerational family farm transfer. **Journal of Rural Studies**, v. 54, p. 60–75, 2017.

CRAMER, V. A.; HOBBS, R. J.; STANDISH, R. J. What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 23, n. 2, p. 104–112, 2008.

CRUZ, G. F. DE L. **Substituição do milho por palma forrageira na dieta de vacas guzerá lactantes**. [s.l.] Universidade Federal da Paraíba, 2018.

CUNHA, A. P. M. et al. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, p. 494–505, 2015.

DA SILVA, L. M. et al. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 11, p. 2064–2071, 2014.

DANTAS, S. F. DE A.; LIMA, G. F. DA C.; MOTA, E. P. DA. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido Potiguar. **Revista IPecege**, v. 3, n. 1, p. 59–74, 2017.

DELGADO, G. C.; BERGAMASCO, S. M. P. P. Agricultura Familiar Brasileira: Desafios e Perspectivas de Futuro. **Agricultura Familiar Brasileira: Desafios e Perspectivas de Futuro**, p. 474, 2017.

DIAS, N. DA S. et al. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (Ed.). . **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal: [s.n.]. p. 151–162.

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. Nutrition and yield of ‘Gigante’ cactus pear cultivated with different spacings and organic fertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 12, p. 1083–1088, 2016.

DRAGONI, D. et al. Evidence of increased net ecosystem productivity associated with a longer vegetated season in a deciduous forest in south-central Indiana, USA. **Global Change Biology**, v. 17, n. 2, p. 886–897, 2011.

DUBEUX, J. C. B. et al. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 3, p. 357–372, 2006.

DUBEUX JR., C. B. et al. Forage potential of cacti on drylands. **Acta Horticulturae**, v. 1067, p. 181–186, 2015.

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

EISTRUP, M. et al. A “young farmer problem”? Opportunities and constraints for generational renewal in farm management: An example from southern Europe. **Land**, v. 8, n. 4, p. 1–13, 2019.

ESTEVEZ-MORENO, L. X. et al. The role of sheep production in the livelihoods of Mexican smallholders: Evidence from a park-adjacent community. **Small Ruminant Research**, v. 178, n. February, p. 94–101, 2019.

FALCÃO, H. M. et al. Ecophysiological performance of three *Opuntia ficus-indica* cultivars exposed to carmine cochineal under field conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 419–424, 2013.

FANGUEIRO, D. et al. Surface application of acidified cattle slurry compared to slurry injection: Impact on NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions and crop uptake. **Geoderma**, v. 306, n. September 2016, p. 160–166, 2017.

FAO. **Climate change and food security: Risks and responses**. [s.l: s.n.].

FAO et al. **Food Security and Nutrition in the World the State of Building Climate Resilience for Food Security and Nutrition**. [s.l: s.n.].

FÉLIX, A. DA S. et al. Exploratory analysis of impacts of climatic changes on vegetal production in Brazil. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 397–407, 2020.

FERNANDES, F. H. S. et al. Degradation trends based on MODIS-derived estimates of productivity and water use efficiency: A case study for the cultivated pastures in the Brazilian Cerrado. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 11, n. May, p. 30–40, 2018.

FERREIRA, M. D. A. et al. Strategies for the supplementation of dairy cows in the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. SUPPL. 1, p. 322–329, 2009.

GALBIATTI, J. A. et al. Desenvolvimento do feijoeiro sob o uso de biofertilizante e adubação mineral. **Regulatory Mechanisms in Biosystems**, v. 2, n. 3–2, p. 167–177, 2011.

GARCETE-GÓMEZ, J. M. et al. Sample size for assessment of cladode brown spot in prickly pear cactus. **European Journal of Plant Pathology**, v. 149, n. 3, p. 759–763, 2017.

GARCÍA, G. A. G. et al. Relevance of local knowledge in decision-making and rural innovation: A methodological proposal for leveraging participation of Colombian cocoa producers. **Journal of Rural Studies**, v. 75, n. January, p. 119–124, 2020.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 9, p. 1275–1284, 2009.

GILBERT, N. How to avert a global water crisis. **Nature**, 2010.

GU, L. et al. Phenology of Vegetation Photosynthesis. p. 467–485, 2003.

HARRISON, S. et al. The problem of agricultural ‘diffuse’ pollution: Getting to the point. **Science of the Total Environment**, v. 677, p. 700–717, 2019.

HINOJOSA, L. et al. The “mountain effect” in the abandonment of grasslands: Insights from the French Southern Alps. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 221, p. 115–124, 2016.

HOLANDA, J. S. DE et al. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (Ed.). . **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal: [s.n.]. p. 35–50.

IBGE. **Censo agropecuário 2017: Resultados definitivo**Censo agropecuário. [s.l.: s.n.].

INWOOD, S.; CLARK, J. K.; BEAN, M. The differing values of multigeneration and first-generation farmers: Their influence on the structure of agriculture at the rural-urban interface. **Rural Sociology**, v. 78, n. 3, p. 346–370, 2013.

JARDIM, A. M. DA R. F. et al. Interaction of agroecosystem intercropped with forage cactus-sorghum in the semi-arid environment: a review. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 1, p. 69–87, 2020a.

JARDIM, A. M. DA R. F. et al. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, n. February 2020, p. 104464, 2021.

JARDIM, A. M. R. F. et al. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum Análise multivariada na avaliação morfo-produtiva da palma forrageira consorciada com o sorgo. p. 756–761, 2020b.

JESUS, M. S. DE. **Avaliação agronômica, bromatológica e cromossômica em clones de duas espécies de palma forrageira (Opuntia ficus-indica Mill. e Nopalea cochenillifera Salm – Dyck)**. [s.l.] Universidade Estadual de Feira de Santana, 2013.

Jl, S. et al. The effect of Trichoderma biofertilizer on the quality of flowering Chinese cabbage and the soil environment. **Scientia Horticulturae**, v. 262, n. December 2019, p. 109069, 2020.

JIMÉNEZ, D. et al. A scalable scheme to implement data-driven agriculture for small-scale farmers. **Global Food Security**, v. 23, n. August, p. 256–266, 2019.

KUNZ, J. H. et al. Interception and use of solar radiation by maize, as modifying soil tillage, row spacing and irrigation water availability. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1511–1520, 2007.

LEVERS, C. et al. Spatial variation in determinants of agricultural land abandonment in Europe. **Science of the Total Environment**, v. 644, p. 95–111, 2018.

LIMA, L. R. et al. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 113–118, 2018.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**, v. 4, n. 1, p. 49–54, 2016.

MARQUES, O. F. C. et al. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciência Agrária**, v. 9, n. 1, p. 75–93, 2017.

MARQUES, T. V. et al. Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 287, n. February 2019, p. 107957, 2020.

MEDEIROS, A. DE S. et al. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 287, n. September 2019, p. 106690, 2020.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova delimitação Semiárido**. Disponível em:

<[http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/Relação\\_de\\_Municípios\\_Semiárido.pdf](http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/Relação_de_Municípios_Semiárido.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2020.

MOHAMED, E. S.; SALEH, A. M.; BELAL, A. A. Sustainability indicators for agricultural land use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt. **Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 17, n. 1, p. 1–15, 2014.

MONTEITH, J. L.; MOSS, C. J. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences**, v. 281, n. 980, p. 277–294, 1977.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. (Ed.). . **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia: [s.n.]. p. 282.

MORAES, G. S. DE O. et al. Cactus [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do we maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions? **Livestock Science**, v. 221, n. June 2018, p. 133–138, 2019.

ONU. **World population prospects 2019**. [s.l: s.n.].

PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 139, p. 26–40, 2017.

PEREIRA, L. H.; NASCIMENTO, P. S. S. Avaliação das normais climatológicas em municípios do Nordeste brasileiro no período de 1961 a 2010. **Brazilian Journal of**



**Development**, v. 6, n. 1, p. 13–27, 2020.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v. 108, p. 39–51, 2012.

PEREIRA, P. D. C. et al. Morfogênese Da Palma Forrageira Irrigada Por Gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184–195, 2015.

PINHEIRO, E. A. R.; LIER, Q. DE J. VAN; ŠIMŮNEK, J. The role of soil hydraulic properties in crop water use efficiency: A process-based analysis for some Brazilian scenarios. **Agricultural Systems**, v. 173, n. February, p. 364–377, 2019.

PINHEIRO, K. M. et al. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939–947, 2014.

QUEIROZ, M. G. DE et al. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.

QUEIROZ, M. G. DE et al. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em Ambiente Semiárido. **Irriga**, v. 1, n. 01, p. 141, 2016.

QUEIROZ, M. G. DE et al. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. **Catena**, v. 188, n. January, p. 104457, 2020.

RICHARDS, L. A. et al. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 18, n. 3, p. 348, 1954.

RICHARDSON, A. D. et al. Terrestrial biosphere models need better representation of vegetation phenology: Results from the North American Carbon Program Site Synthesis. **Global Change Biology**, v. 18, n. 2, p. 566–584, 2012.

SANTOS, A. P. G. et al. Produtividade e qualidade de frutos do meloeiro em função de

- tipos e doses de biofertilizantes. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 409–416, 2014.
- SANTOS, D. C. et al. **Manejo e utilização da palma forrageira (opuntia e nopalea) em Pernambuco**. Recife-PE: [s.n.].
- SARKAR, D. et al. Low input sustainable agriculture: A viable climate-smart option for boosting food production in a warming world. **Ecological Indicators**, v. 115, n. April, p. 106412, 2020.
- SCALISI, A. et al. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158–167, 2016.
- SILVA, M. G. S. DA et al. Anatomy of different forage cacti with contrasting insect resistance. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 6, p. 718–722, 2010.
- SILVA, T. G. F. DA et al. Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. **Revista Ceres**, v. 56, n. 5, p. 602–610, 2009.
- SILVA, T. G. F. DA et al. Area Do Cladódio De Clones De Palma Forrageira: Modelagem, Análise E Aplicabilidade. **Revista Brasileirade Ciencias Agrarias**, v. 9, n. 4, p. 633–641, 2014a.
- SILVA, T. G. F. DA et al. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515–525, 2015a.
- SILVA, T. G. F. DA et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10–18, 2015b.
- SILVA, T. G. F. DA et al. Agrometeorological research on forage cactus and its advances in Brazil. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 1, n. 2, p. 45–68, 2017.
- SILVA, J. G. et al. Biofertilizante caprino no desenvolvimento de *Urochloa ruziziensis*. **Archivos de Zootecnia**, v. 64, n. 248, p. 323–329, 2015c.

SILVA, T. G. F. et al. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido Brasileiro. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 184–191, 2014b.

SON, N. T. et al. Monitoring agricultural drought in the lower mekong basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 18, n. 1, p. 417–427, 2012.

SOUSA, G. B. DE et al. Salinidade Do Substrato Contendo Biofertilizante Para Formação De Mudanças De Maracujazeiro Irrigado Com Água Salina. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 2, p. 172–180, 2008.

SOUZA, M. D. S. et al. Growth, phenology and harvesting time of cactus-millet intercropping system under biotic mulching. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 00, n. 00, p. 1–15, 2021.

TEIXEIRA, DA S. G. C.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 9–17, 2015.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate Author ( s ): C . W . Thornthwaite Published by : American Geographical Society Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/210739> Accessed : 11-08-2016 18 : 02 UTC. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948.

TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. August, p. 671–677, 2002.

TRIVIÑO-TARRADAS, P. et al. Evaluation of agricultural sustainability on a mixed vineyard and olive-grove farm in Southern Spain through the INSPIA model. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 3, 2020.

UDMALE, P. et al. Farmers' perception of drought impacts, local adaptation and administrative mitigation measures in Maharashtra State, India. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 10, n. PA, p. 250–269, 2014.

VASCONCELOS, A. G. V. DE et al. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 827–831, 2009.

VELTEN, S. et al. What is sustainable agriculture? A systematic review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 7, n. 6, p. 7833–7865, 2015.

VITOR, C. M. T. et al. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 435–442, 2009.

WATTS, D. B.; RUNION, G. B.; BALKCOM, K. S. Nitrogen fertilizer sources and tillage effects on cotton growth, yield, and fiber quality in a coastal plain soil. **Field Crops Research**, v. 201, p. 184–191, 2017.

WITHERS, P. J. A. et al. Agriculture and eutrophication: Where do we go from here? **Sustainability (Switzerland)**, v. 6, n. 9, p. 5853–5875, 2014.

WÓJCIK, M.; JEZIORSKA-BIEL, P.; CZAPIEWSKI, K. Between words: A generational discussion about farming knowledge sources. **Journal of Rural Studies**, v. 67, n. February, p. 130–141, 2019.

WUEPPER, D.; WIMMER, S.; SAUER, J. Is small family farming more environmentally sustainable? Evidence from a spatial regression discontinuity design in Germany. **Land Use Policy**, v. 90, n. September 2019, p. 104360, 2020.

XINCHUN, C. et al. Water footprint assessment for crop production based on field measurements: A case study of irrigated paddy rice in East China. **Science of the Total Environment**, v. 610–611, p. 84–93, 2018.

YADAV, R. S. et al. Seed bio-priming of baby corn emerged as a viable strategy for reducing mineral fertilizer use and increasing productivity. **Scientia Horticulturae**, v. 241, n. June, p. 93–99, 2018.

ZHAO, C. et al. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the**

**United States of America**, v. 114, n. 35, p. 9326–9331, 2017.