

HYGOR KRISTOPH MUNIZ NUNES ALVES

POTENCIALIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE PALMA  
SOB DIFERENTES ARRANJOS: COM O USO DE COBERTURA MORTA, IRRIGAÇÃO  
E CONSÓRCIO COM MILHETO

RECIFE-PE

2020

HYGOR KRISTOPH MUNIZ NUNES ALVES

POTENCIALIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE PALMA  
SOB DIFERENTES ARRANJOS: COM O USO DE COBERTURA MORTA, IRRIGAÇÃO  
E CONSÓRCIO COM MILHETO

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador:  
Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

RECIFE-PE

2020

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)

---

- A474p Alves, Hygor Kristoph Muniz Nunes  
Potencialização sustentável da produção de forragem de palma sob diferentes arranjos: com o uso de cobertura morta, irrigação e consórcio com milho / Hygor Kristoph Muniz Nunes Alves. - 2020.  
145 f. : il.
- Orientador: Thieres George Freire da Silva.  
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2020.
1. Opuntia . 2. Nopalea. 3. Semiárido. 4. Índices morfofisiológicos. 5. Análise econômica. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Título

HYGOR KRISTOPH MUNIZ NUNES ALVES

POTENCIALIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE PALMA  
SOB DIFERENTES ARRANJOS: COM O USO DE COBERTURA MORTA, IRRIGAÇÃO  
E CONSÓRCIO COM MILHETO

Dissertação defendida e aprovada em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

Orientador:

---

Thieres George Freire da Silva - UFRPE

Examinadores:

---

Profº. Dr. Antônio José Steidle Neto - UFSJ

---

Profº. Dr. Ênio Farias de França e Silva - UFRPE

---

Dr. Gherman Garcia Leal de Araújo - EMBRAPA

Ao meu pai José Alves e  
os meus avós, Manoel Alves e Isabel Gomes (*in memoriam*),  
Liberato de Farias e Estelita Muniz, por todo o apoio.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família (Pai, Mãe, Avós, Tios e Primos) por todo o apoio, compreensão e exemplo transmitido ao longo dessa etapa.

A minha namorada Paula Regina, pelo apoio e companheirismo. Por participar e cuidar de mim em momentos tão importantes da minha vida ao longo dessa caminhada. Pela atenção e paciência dada as minhas longas histórias sem fim.

Ao meu orientador Prof. Thieres George Freire da Silva pelo exemplo de profissional, pela sua autoestima contagiante, por acreditar em minha pessoa e enxergar além, e pelas boas conversas que tivemos ao longo de toda minha formação. Quero também expressar minha imensa gratidão pelo esforço, para dar continuidade aos experimentos, durante esse período de pandemia, pois sem essa grande contribuição não seria possível a conclusão desse trabalho.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, a SEDE e a Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) pela infraestrutura oferecida para comprei com as disciplinas e os experimentos.

Os programas de Pós Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA-SEDE) e a Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV-UAST), pela oportunidade e acolhimento, proporcionando a teoria e a prática. A todos os professores do programa, em particular: Abelardo, Audifax, Amilton, Edivan, Elvira, Ênio, Geber, Gerônimo e Manassés.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro as nossas pesquisas. A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido, por todo o suporte na instalação, condução e manutenção dos experimentos, pois sem vocês essa etapa não seria possível. Graduação: Gabriel, Jandis, João Pedro (Pêu), Kaique, Leonardo (Léo), Orlando e Renan. Pós-graduandos: Alexandre, Carlos André, Cleber, Gebson, George, José Neto e Marcondes. Em particular a Cleber e Gebson, por organizarem e se responsabilizarem por todas as atividade e coletas de dados em minha ausência. E ao grande Carlos André, que acolheu a minha pessoa recém chegada em Recife, fazendo de sua apartamento meu lar, além de sua grande participação na condução e coleta de dados dos experimentos durante o período de pandemia, em que apenas umas poucas pessoas tinham acesso ao campo experimental, fazendo com que fosse possível a conclusão desse trabalho.

A todos os colegas quem conheci durante as disciplinas cursadas, pela amizade e momentos de descontração. São eles(a): Alan, Isabela, Ivis, Laís, Matheus, Thais, Tecla, Uriel e Vasco.

Aos membros da banca examinadora Prof. Antônio Steidle, Prof. Ênio e Dr. Gherman por terem aceitado o convite.

***Grato!***

## SUMÁRIO

<b>Lista de Figuras</b> .....	xi
<b>Lista de Tabelas</b> .....	xiv
<b>Resumo Geral</b> .....	xvi
<b>General Abstract</b> .....	xvii
<b>1. Introdução geral</b> .....	18
<b>2. Hipóteses</b> .....	19
<b>3. Objetivos</b> .....	19
<b>3.1. Objetivos específicos</b> .....	19
<b>CAPÍTULO I</b> .....	21
<b>PRÁTICAS AGRÍCOLAS RESILIENTES PARA MAXIMIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO</b> .....	21
<b>4. Revisão bibliográfica</b> .....	22
4.1. Caracterização e singularidades do Semiárido brasileiro .....	22
4.2. Estratégias agrícolas para aumento da resiliência.....	26
4.2.1. Plantas adaptadas a região .....	26
4.2.2. Sistemas de consorciação na agricultura .....	31
4.2.3. Manjo da irrigação em ambiente semiárido .....	33
4.2.4. Cobertura morta.....	34
<b>5. Considerações finais</b> .....	36
<b>6. Referências</b> .....	37
<b>CAPÍTULO II</b> .....	53
<b>MULTISISTEMAS DE PRODUÇÃO E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO</b> .....	53
<b>Resumo</b> .....	54
<b>Abstract</b> .....	56
<b>1. Introdução</b> .....	58
<b>2. Material e métodos</b> .....	59
2.1. Área de estudo.....	59
2.2. Design experimental e manejo das culturas.....	60
2.2.1. Experimento 1: irrigação-cobertura-clones .....	61
2.2.2. Experimento 2: lâminas de irrigação .....	62
2.2.3. Experimento 3: consócio-cobertura morta .....	62
2.2.4. Experimento 4: níveis de cobertura morta.....	63
2.3. Irrigação.....	63

2.4.	Mensuração de dados.....	64
2.4.1.	Análise de crescimento e rendimento.....	64
2.4.2.	Estádios fenológicos e momento de colheita ideal da palma forrageira.....	65
2.4.3.	Índices morfofisiológicos da palma forrageira.....	65
2.5.	Análise estatística.....	66
<b>3.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>66</b>
3.1.	Estádios fenológicos da palma forrageira.....	66
3.2.	Momento de colheita ideal.....	74
3.3.	Índices morfofisiológicos.....	79
<b>4.</b>	<b>Discussão</b> .....	<b>87</b>
4.1.	Estádios fenológicos da palma forrageira.....	87
4.2.	Momento ideal de colheita.....	91
4.3.	Indicadores morfofisiológicos.....	92
<b>5.</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>96</b>
<b>6.</b>	<b>Referências</b> .....	<b>98</b>
<b>CAPÍTULO III</b> .....		<b>105</b>
<b>MANEJO INTEGRADO DE PRÁTICAS AGRONÔMICAS: MAXIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E RENTABILIDADE ECONÔMICA DA PALMA FORRAGEIRA</b> .....		<b>105</b>
<b>Resumo</b> .....		<b>106</b>
<b>Abstract</b> .....		<b>107</b>
<b>1.</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>108</b>
<b>2.</b>	<b>Material e métodos</b> .....	<b>109</b>
2.1.	Área de estudo: condições edafoclimáticas.....	109
2.2.	Material vegetal e condições de cultivo.....	110
2.2.1.	Área 1: cobertura-irrigação-clones.....	110
2.2.2.	Área 2: níveis de irrigação.....	111
2.2.3.	Área 3: consórcio-cobertura.....	111
2.2.4.	Área 4: níveis de cobertura.....	112
2.3.	Manejo da irrigação.....	112
2.4.	Coleta de dados.....	113
2.4.1.	Rendimento de forragem.....	113
2.4.2.	Índices de eficiência biológica.....	114
2.4.3.	Índices de habilidade competitiva.....	115
2.4.4.	Indicadores econômicos.....	117

2.5. Análise estatística.....	118
<b>3. Resultados .....</b>	<b>118</b>
3.1. Desempenho produtivo .....	118
3.2. Índices de concorrência.....	122
3.3. Análise econômica .....	123
<b>4. Discussão .....</b>	<b>130</b>
4.1. Desempenho produtivo .....	130
4.2. Índices de concorrência.....	134
4.3. Análise econômica .....	135
<b>5. Conclusões.....</b>	<b>137</b>
<b>6. Referências.....</b>	<b>138</b>
<b>Considerações finais .....</b>	<b>145</b>

## Lista de Figuras

### CAPÍTULO I

**Figure 1.** Expansão comparativa da modificação da área de abrangência do Semiárido brasileiro, uma região em expansão 2005 a 2017.....23

**Figure 2.** Benefícios do uso de cobertura morta em sistemas de cultivo (ALVES et al., 2018) .....35

### CAPÍTULO II

**Figura 1.** Disponibilidade hídrica e evapotranspiração de referência diária no período de: (A) — 01 de janeiro de 2017 a 07 de julho de 2018; (B) — 15 de março de 2019 a 15 de maio de 2020; (C) — 25 de fevereiro de 2019 a 11 de fevereiro de 2020; (D) — 02 de agosto de 2019 a 15 de maio de 2020..... 61

**Figura 2.** Estádios fenológicos na fase vegetativa de distintos clones de palma forrageira (IPA - IPA Sertânia; MIU - Miúda e; OEM - Orelha de Elefante Mexicana) submetidos a diferentes sistemas de produção (ICC - irrigado com cobertura; SCC - sequeiro com cobertura; ISC - irrigado sem cobertura e; SSC - sequeiro sem cobertura), no Semiárido brasileiro.....67

**Figura 3.** Estádios fenológicos de clones de palma forrageira (IPA - IPA Sertânia; MIU - Miúda e; OEM - Orelha de Elefante Mexicana) acometidos a diferentes lâminas de irrigação (0%ETc - sequeiro; 40%, 80% e 120% - frações da evapotranspiração da cultura) no Semiárido brasileiro.....69

**Figura 4.** Estádios fenológicos na fase vegetativa do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana exclusivo e consorciado com milho sob dois níveis de cobertura morta (P-CC - palma com cobertura; P-SC - palma sem cobertura; PM-CC - palma-milho com cobertura; PM-SC - palma-milho sem cobertura), no Semiárido brasileiro..... 70

**Figura 5.** Estádios fenológicos do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetida a diferentes níveis de cobertura morta do solo, no Semiárido brasileiro. ....71

**Figura 6.** Acúmulo de matéria seca e momento de corte do sistema cobertura-lâmina-clones de palma forrageira (IPA - IPA Sertânia; MIU - Miúda e; OEM - Orelha de Elefante Mexicana; ICC - irrigado com cobertura; SCC - sequeiro com cobertura; ISC - irrigado sem cobertura e; SSC - sequeiro sem cobertura), no Semiárido brasileiro entre janeiro de 2017 e julho de 2018. .... 74

**Figura 7.** Acúmulo de matéria seca e momento de corte do sistema clones de palma forrageira e lâminas de irrigação (IPA - IPA Sertânia; MIU - Miúda; OEM - Orelha de Elefante Mexicana; 0%ETc - sequeiro; 40%, 80% e 120% - frações da evapotranspiração da cultura) no Semiárido brasileiro. .... 76

**Figura 8.** Acúmulo de matéria seca e momento de corte do sistema consorciado da palma exclusiva e palma forrageira com milho cultivado com e sem cobertura morta (P-CC - palma com cobertura; P-SC - palma sem cobertura; PM-CC - palma-milho com cobertura; PM-SC - palma-milho sem cobertura), no Semiárido brasileiro. .... 77

**Figura 9.** Acúmulo de matéria seca e momento de corte do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana cultivada com níveis de cobertura morta no solo, no Semiárido brasileiro. .... 78

**Figura 10.** Índices morfofisiológicos de crescimento de clones de palma forrageira cultivados em distintos sistemas de produção em ambiente semiárido, no período de janeiro de 2017 a julho de 2018. TCA - Taxa de crescimento absoluto (A, B e C); TCR - Taxa de crescimento relativo (D, E e F); TAL - Taxa de assimilação líquida (G, H e I); ACE - Área de cladódio específico (J, K e L)..... 80

**Figura 11.** Índices morfofisiológicos de crescimento de clones de palma forrageira cultivados com diferentes lâminas de irrigação em ambiente semiárido, no período de maio de 2019 a março de 2020. TCA - Taxa de crescimento absoluto (A, B e C); TCR - Taxa de crescimento relativo (D, E e F); TAL - Taxa de assimilação líquida (G, H e I); ACE - Área de cladódio específico (J, K e L)..... 82

**Figura 12.** Índices morfofisiológicos de crescimento da palma forrageira cultivada exclusiva e consorciada com milho em ambiente semiárido. TCA - Taxa de crescimento absoluto (A); TCR - Taxa de crescimento relativo (B); TAL - Taxa de assimilação líquida (C); ACE - Área de cladódio específico (D); P-CC - palma exclusiva com cobertura; PM-CC - consócio palma-

milheto com cobertura; P-SC - palma exclusiva sem cobertura e; PM-SC - consórcio palma-milheto sem cobertura. .... 84

**Figura 13.** Índices morfofisiológicos de crescimento da palma forrageira cultivada sob distintos níveis de cobertura morta, em ambiente semiárido. TCA - Taxa de crescimento absoluto (A); TCR - Taxa de crescimento relativo (B); TAL - Taxa de assimilação líquida (C); ACE - Área de cladódio específico (D). .... 85

### CAPÍTULO III

**Figura 1.** Dados de Evapotranspiração de referência e precipitação para o período de janeiro de 2017 a agosto de 2020, compreendendo todos os períodos de estudo, para o município de Serra Talhada – PE. .... 113

**Figura 2.** Valor presente líquido (VPL, A e B) e taxa interna de retorno (TIR, C e D) de três clones de palma forrageira (OEM – Orelha de Elefante Mexicana; MIU – Miúda; IPA – IPA Sertânia), combinados com quatro sistemas de cultivo (ICC – Irrigado com cobertura morta; ISC – Irrigado sem cobertura morta; SCC – Sequeiro com cobertura morta; SSC – Sequeiro sem cobertura morta). vf e vs representam as formas de venda para forragem e para plantio “semente”, respectivamente. .... 125

**Figura 3.** Valor presente líquido (VPL, A e B) e taxa interna de retorno (TIR, C e D) em sistema de cultivo com três clones de palma forrageira (OEM, MIU e IPA) e diferentes frações da evapotranspiração da cultura (ETc). .... 126

**Figura 4.** Valor presente líquido (VPL, A e B) e taxa interna de retorno (C e D) para três sistemas: consorciado palma-milheto (P/M); palma exclusiva (P); e milheto exclusivo (M). Combinados com dois tratamentos: com cobertura morta (CC) e sem cobertura morta (SC), sob duas perspectivas, venda para forragem (vf) e venda de cladódios para semente (vs). Note: A seta indica ampliação do resultado da análise. .... 127

**Figura 5.** Valor presente líquido (VPL, A) e taxa interna de retorno (TIR, B) para cultivo de *Opuntia stricta* sob diferentes níveis de cobertura do solo, em dois cenários comerciais, venda para forragem (vf) e venda de cladódios para semente (vs). .... 128

## Lista de Tabelas

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1.</b> Distribuição e área de abrangência municipal e populacional pertencentes a nova delimitação do Semiárido brasileiro (SAB).....	22
---	----

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1.</b> Duração em graus dias acumulados dos estádios fenológicos para os diferentes sistemas de produção.....	73
---	----

<b>Tabela 2.</b> Tempo térmico em graus dias acumulados do início dos tratamentos até a colheita para os diferentes sistemas de cultivo da palma forrageira .....	79
---	----

<b>Tabela 3.</b> Valores médios dos índices morfofisiológicos de clones de palma forrageira submetidos a múltiplos sistemas de cultivo no semiárido brasileiro.....	86
---	----

### CAPÍTULO III

<b>Tabela 1.</b> Características físico-químicas de um Cambissolo Háptico Ta Eutrófico da área experimental. ....	110
---	-----

<b>Tabela 2.</b> Valores acumulados de lâmina de irrigação e variáveis meteorológicas em milímetros, durante o período experimental para cada área avaliada.....	113
--	-----

<b>Tabela 3.</b> Desempenho de clones de palma forrageira (Opuntia e Nopalea) condicionados à sistema de produção cobertura-irrigação-clones. ....	119
--	-----

<b>Tabela 4.</b> Produtividade e mortalidade de plantas de palma sob diferentes regimes hídricos. ....	120
--	-----

<b>Tabela 5.</b> Produtividade de matéria fresca e seca por ciclo de milho, palma e número total de cladódios (NTC). ....	121
---	-----

<b>Tabela 6.</b> Produtividade da palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana acometido a diferentes níveis de cobertura morta sobre o solo. ....	122
<b>Tabela 7.</b> Eficiência biológica do consórcio <i>Opuntia stricta</i> e <i>Pennisetum glaucum</i> (palma-milheto) submetidos a cultivos sem e com cobertura morta de palha sobre o solo, em ambiente semiárido. ....	122
<b>Tabela 8.</b> Índices de habilidade competitiva para o consórcio palma-milheto em um clima semiárido. ....	123
<b>Tabela 9.</b> Custo de implantação (R\$ ha <sup>-1</sup> ) e operacional dos diferentes sistemas de produção da palma forrageira e do milho. ....	124
<b>Tabela 10.</b> Índice de lucratividade de diferentes sistemas de produção da palma em ambiente semiárido. ....	129

ALVES, HYGOR KRISTOPH MUNIZ NUNES, M.e Universidade Federal Rural de Pernambuco. Outubro de 2020. **Potencialização sustentável da produção de forragem de palma sob diferentes arranjos: com o uso de cobertura morta, irrigação e consórcio com milho.**

**Orientador:** Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

### **Resumo Geral**

A palma forrageira é uma cactácea de grande utilização no semiárido brasileiro, devido sua elevada adaptabilidade as condições edafoclimáticas da região, contribuindo para o suprimento de forragem e água em períodos secos, promovendo estabilidade aos sistemas de produção pecuários, devido a essa dependência, à necessidade da compreensão do comportamento produtivo da palma forrageira submetida a distintos sistemas de produção. Assim, objetivou-se avaliar a adoção de práticas de melhoria da resiliência agrícola para potencialização da produção de forragem em áreas com risco de desertificação no Semiárido brasileiro. O experimento foi realizado entre janeiro de 2017 e agosto de 2020, no campo experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, constituindo-se da avaliação de quatro experimentos (cobertura-irrigação-clones, lâminas de irrigação, cobertura-consórcio e níveis de cobertura morta), todos em delineamento em blocos casualizados, foram realizadas medidas de variáveis biométricas e de biomassa ao longo do tempo, afim de estabelecer o cálculo da fenologia e momento de colheita e quantificar os indicadores morfofisiológicos. Foram quantificados o número total de cladódios, rendimento de matéria fresca e seca, bem como o estande final de plantas na ocasião da colheita. Os indicadores econômicos foram avaliados por meio do valor presente líquido, taxa interna de retorno e índice de lucratividade. Os dados foram submetidos a análise de variância mediante teste F a 0,05 de probabilidade e análise de regressão. Como as principais conclusões destaca-se a sensibilidade dos clones pertencentes ao gênero *Nopalea* ao excesso de água nos sistemas estudados. O clone de *Opuntia* não apresentou grandes respostas aos volumes de água. Os sistemas de cultivo da palma forrageira que fizeram uso de cobertura morta apresentaram melhores respostas de crescimento, produtividade e viabilidade econômica.

Palavras-chave: *Opuntia*; *Nopalea*; Semiárido; Índices morfofisiológicos; Análise econômica

ALVES, HYGOR KRISTOPH MUNIZ NUNES, MSc. Federal Rural University of Pernambuco. October de 2020. **Sustainable potentialization of cactus forage production under different arrangements: using mulch, irrigation and intercropping with millet.**

**Advisor:** Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

### **General Abstract**

The forage cactus is a cactaceae widely used in the Brazilian semiarid, due to its high adaptability to the edaphoclimatic conditions of the region, contributing to the supply of forage and water in dry periods, promoting stability to livestock production systems, due to this dependence, the need understanding of the productive behavior of forage cactus submitted to different production systems. Thus, the objective was to evaluate the adoption of practices to improve agricultural resilience to enhance forage production in areas at risk of desertification in the Brazilian semiarid region. The experiment was carried out between January 2017 and August 2020, in the experimental field of the Federal Rural University of Pernambuco, Serra Talhada Academic Unit, consisting of the evaluation of four experiments (cover-irrigation-clones, irrigation layers, cover- consortium and mulch levels), all in a randomized block design, measurements of biometric and biomass variables were performed over time, in order to establish the calculation of phenology and harvest time and quantify the morphophysiological indicators. The total number of cladodes, yield of fresh and dry matter, as well as the final plant stand at harvest were quantified. Economic indicators were evaluated using net present value, internal rate of return and profitability index. The data were subjected to analysis of variance using the F test at 0.05 probability and regression analysis. As the main conclusions, the sensitivity of the clones belonging to the genus *Nopalea* to the excess of water in the studied systems stands out. The *Opuntia* clone did not show great responses to water volumes. The systems of cultivation of forage cactus that used mulch showed better responses for growth, productivity and economic viability.

Keywords: *Opuntia*; *Nopalea*; Semiarid; Morphophysiological indexes; Economic analysis

## 1. Introdução geral

As mudanças climáticas, até meados do século XXI, afetarão de forma progressiva as atividades socioeconômicas em todo o mundo, com impactos consideráveis no setor agrícola (MAKATE, 2019). Esses impactos comprometem significativamente os países em desenvolvimento, devido à baixa capacidade adaptativa das populações, decorrente da: 1) elevação das temperaturas do ar; 2) variabilidade dos eventos de chuvas; e 3) dinâmica dos fenômenos climáticos extremos, tais como, secas e enchentes, acarretando em diminuições quantitativas e qualitativas nas produções e produtividades das culturas e setor agropecuário (TRINH et al., 2018).

Esse cenário, juntamente com as projeções para o crescimento populacional, mudanças nos hábitos alimentares e padrões de consumo das populações ascendentes dos países em desenvolvimento, tem exercido forte pressão nos sistemas agrícolas, principalmente no que concerne ao aumento da produção, para atender uma demanda progressiva por alimentos (CAMPBELL et al., 2014). Ao passo que, aumenta-se a demanda por alimento, eleva-se também a necessidade de ampliar a produção, acontecendo-se de duas formas: a) prolongamento das fronteiras agrícolas; e b) intensificação dos sistemas (VANLAUWE et al., 2014).

Com o propósito de atender às necessidades atuais e garantir às futuras gerações, como também a segurança alimentar, a intensificação do uso da terra torna-se necessária (ROBINSON et al., 2015; SMITH et al., 2017), visto que, o aumento adicional da produção através da expansão das áreas não é mais viável em um número crescente de países (HOLDEN, 2018). Mostrando-se como alternativa a intensificação sustentável (IS) de muitas áreas de pequenos produtores, tendo estas, grande potencial para aumentar a produtividade, acrescentando a oferta de alimento e forragem (SMITH et al., 2017), como ocorre no Semiárido brasileiro (SAB).

Conceitualmente, segundo Scherer, Verburg e Schulp (2018) a IS promove a maximização da produção em uma mesma área, sem a necessidade da abertura de novos locais de cultivo, minimizando os impactos ambientais e mantendo o funcionamento do ecossistema. Apesar de oferecer alternativas para melhoria da produção de forma eficiente e sustentável, o sucesso da IS pode variar espacialmente entre as regiões geográficas e pode ser muito diversificada, uma vez que envolve aspectos físicos, econômicos, sociais e ambientais para garantir o seu sucesso (THOMSON et al., 2019).

A IS possibilita um suporte proveitoso no que concerne a práticas de aumento da produção agrícola em ambiente com fortes ações antropogênicas, como é o caso do Semiárido brasileiro (SAB). Essa região apresenta grande número de estabelecimentos rurais de pequeno porte, os quais muitas vezes são manejados de forma ineficiente, levando ao esgotamento dos recursos e posteriormente abandono das áreas, trazendo como consequência a abertura de novas fronteiras e a inicialização dos processos de degradação, perda da biodiversidade das áreas abandonadas, e desencadeando o fenômeno da desertificação (VIEIRA et al., 2015).

No entanto, é de fundamental importância a utilização de estratégias de manejo adequadas para ampliar os rendimentos e a eficiência dos sistemas de produção no SAB. Essas melhorias podem ser alcançadas por meio de vários aspectos de caráter agrônomo, como a implantação de variedades adaptadas, padrões de cultivo melhorados para a região, consórcio e técnicas culturais, bem com a identificação de culturas com melhor ajuste morfofisiológico e fenológico para responder as situações locais (SANTOS et al., 2017; MARTINS et al., 2018).

## **2. Hipóteses**

1. Os diferentes manejos de práticas agrônomicas proporcionam desempenho satisfatórios no crescimento e desenvolvimento dos diferentes clones de palma forrageira;
2. Os diferentes clones de palma forrageira respondem de forma positiva aos distintos sistemas de produção impostos, maximizando o seu rendimento e retorno econômico.

## **3. Objetivos**

Avaliar a adoção de práticas de melhoria da resiliência agrícola para potencialização da produção de forragem em áreas com risco de desertificação no Semiárido brasileiro.

### **3.1. Objetivos específicos**

- Caracterizar a morfologia, fenologia e o momento de corte da palma forrageira;
- Analisar o desempenho agrônomo de sistemas de cultivo de três clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), bem como seu retorno econômico em diferentes sistemas de cultivo;

- Mensurar a produtividade global e, a eficiência biológica e habilidade competitiva de consórcios adensados de palma e do milho em relação aos seus monocultivos;

## **CAPÍTULO I**

---

# **PRÁTICAS AGRÍCOLAS RESILIENTES PARA MAXIMIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

## 4. Revisão bibliográfica

### 4.1. Caracterização e singularidades do Semiárido brasileiro

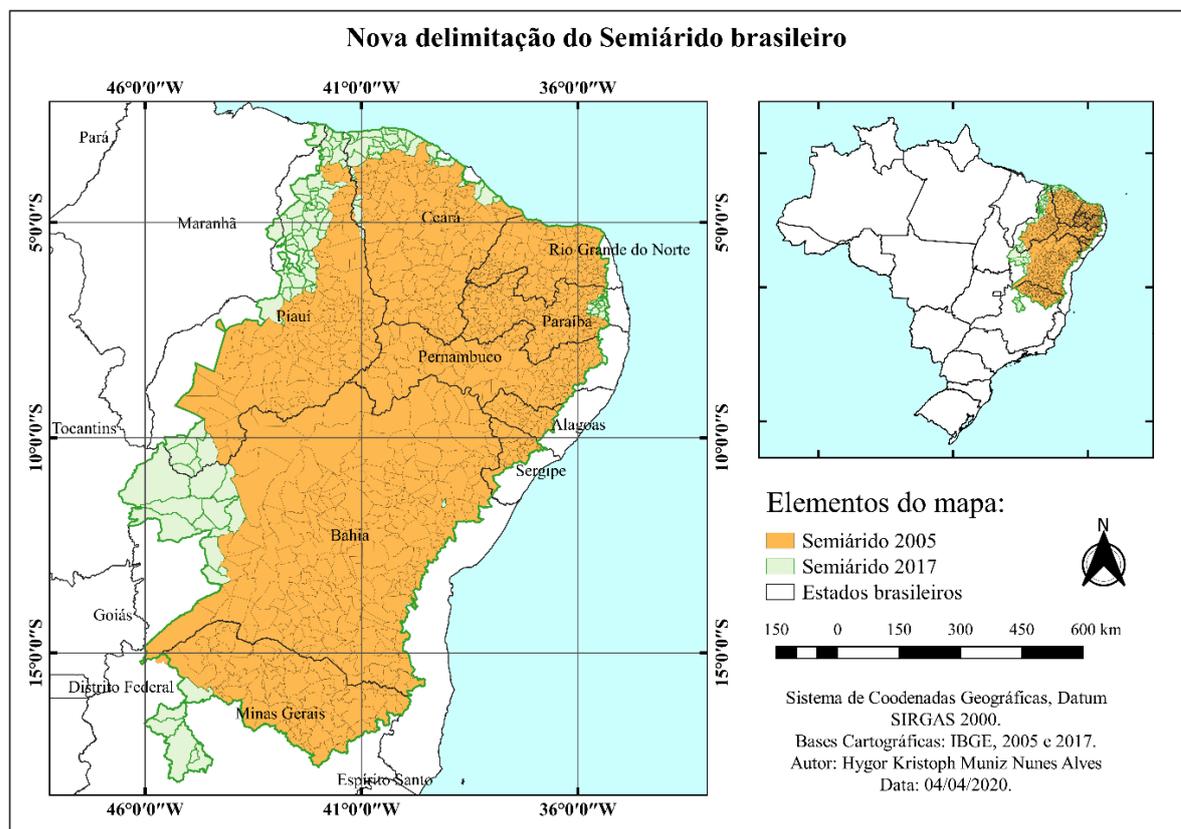
As regiões enquadradas como áridas e semiáridas apresentam uma área de 59,86 milhões de km<sup>2</sup>, proporcional a 40% das terras emersas do globo, envolvendo 37% da população mundial (GUTIÉRREZ et al., 2017). Essas zonas apresentam grande variabilidade climática e ocorre em todos os continentes. No Brasil, o clima “semiárido” (termo também atribuído a uma região) se faz presente em grande parte do Nordeste e em menores proporções no Sudeste, sendo essa região densamente habitada e possadora de grande biodiversidade (LEDRU et al., 2020). O Semiárido brasileiro (SAB) estende-se por uma área de 1,12 milhão km<sup>2</sup>, compreendendo um total de 1.262 municípios, os quais estão inseridos em 10 unidades federativas, sendo nove destes, pertencentes ao Nordeste, mais o estado de Minas Gerais, pertencente a região Sudeste. Encontra-se uma população de aproximadamente 27,8 milhões de habitantes, em concordância com a nova delimitação do Ministério da Integração Nacional (2017) e censo populacional do IBGE (2018), distribuídos conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Distribuição e área de abrangência municipal e populacional pertencentes a nova delimitação do Semiárido brasileiro (SAB)

Unidades da Federação	Municípios no SAB		Área no SAB			População no SAB (2018)		
	Nº	%	km <sup>2</sup>	% SAB	% SAB na UF	Habitantes	% SAB	% Hab. na UF
AL	38	3,0	125.83,0	1,1	45,19	962.641	3,45	28,97
BA	278	22,0	446.021,0	39,5	78,98	7.675.656	27,54	51,82
CE	175	13,9	146.889,0	13,0	98,65	5.827.192	20,91	64,21
MA	2	0,2	3.523,0	0,3	1,07	213.693	0,77	3,04
MG	91	7,2	121.256,0	10,7	20,67	1.492.198	5,35	7,09
PB	194	15,4	513.06,0	4,5	90,86	2.498.117	8,96	62,51
PE	123	9,7	86.341,0	7,7	88,04	3.993.975	14,33	42,06
PI	185	14,7	200.061,0	17,7	79,51	2.805.394	10,07	85,94
RN	147	11,6	49.073,0	4,3	92,92	1.922.440	6,90	55,26
SE	29	2,3	11.093,0	1,0	50,59	478.935	1,72	21,02
<b>SAB</b>	<b>1.262</b>	<b>100</b>	<b>1.128.146,0</b>	<b>100</b>	<b>-</b>	<b>27.870.241</b>	<b>100</b>	<b>-</b>

Fonte: Ministério da Integração Nacional (2017); IBGE (2018).

Recobrando 13,24% do território nacional, o SAB não engloba apenas municípios que apresentam o clima Semiárido e sim os que se enquadram em pelo menos um dos critérios adotados para a delimitação desta região, sendo estes: *i*) precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; *ii*) índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50; e, *iii*) o porcentual diário de deficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando-se todos os dias do ano (ANDRADE; NUNES, 2014; JARDIM et al., 2020). Essa classificação ao longo do tempo passou por várias revisões e sua última reorganização foi no ano de 2017, onde foi acrescida de 129 municípios, com um aumento de 14,09% em sua área de abrangência quando comparada a sua última atualização no ano de 2005, correspondendo os estados da Bahia, Ceará e Piauí os que mais contribuíram para esse aumento (Fig. 1) (SUDENE, 2017; IBGE, 2018).



**Figure 1.** Expansão comparativa da modificação da área de abrangência do Semiárido brasileiro, uma região em expansão 2005 a 2017.

Tal região, apresenta insolação média de 2.800 h ano<sup>-1</sup>, evapotranspiração potencial (ETp) média de 2.000 mm ano<sup>-1</sup>, com temperaturas médias do ar variando de 20,1 a 32,9 °C e umidade relativa do ar em torno de 60% (SILVA et al., 2014b; ALVES et al., 2018), a região

do SAB apresenta grande variabilidade espaço-temporal das precipitações pluviométricas (i.e., 350 a 800 mm), entre anos e dentro de um mesmo ano, concentrando-se em um curto período de tempo, não mais que três ou quatro meses (SOUZA et al., 2015). Essas condições aliadas a alta demanda evaporativa da atmosfera, acarreta em um balanço hídrico negativo na maior parte do ano, ocasionando a escassez hídrica e o fenômeno das secas (CUNHA et al., 2015), agravando os sistemas de produções locais (SIMÕES et al., 2010).

Além desses fatores climatológicos que afetam drasticamente a zona Semiárida do Brasil, impactando diretamente nas condições socioeconômicas das populações dessa região, os solos dessa área em sua maioria não apresentam grande aptidão agrícola do ponto de vista físico, uma vez que são solos jovens na concepção pedogenético, i.e. solos pouco intemperizados, com pouca profundidade efetiva e baixa capacidade de retenção de umidade no perfil, influenciando na composição florística local e dificultando a agricultura de subsistência (OLIVEIRA et al., 2018a). De forma genérica, os principais solos dominantes nas divergentes paisagens do SAB são os Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos e Planossolos (GOMES et al., 2019). Com exceção de alguns solos mais desenvolvidos a depender de seu ambiente de formação, as profundidades médias variam de, < 0,50 m (i.e., solos rasos) e entre 0,50 e 1,00 m (i.e., pouco profundos). Do ponto de vista físico, encontra-se grandes quantidades de cascalhos, calhaus e matacões, especialmente nos solos desenvolvidos em paisagens mais secas.

Na perspectiva química, os solos do SAB apresentam pH variando entre moderadamente ácidos a moderadamente neutros, com boa disponibilidade de nutrientes, exceto o fósforo que segundo Araújo, Schaefer, Sampaio (2004) os solos dessa região apresentam baixa disponibilidade de fósforo lábil, agravando a queda de produtividade. Outra característica marcante é a propensão ao acúmulo de sais (e.g. carbonatos e cloretos), em particular para ambientes onde apresentam restrições de drenagem, evidenciando solos salinos ou em curso de salinização (RESENDE et al., 2014; BATISTÃO et al., 2020). Tendo em vista a grande extensão do SAB e sua alta variabilidade de paisagem e características dos solos, nossa abordagem apresenta uma descrição genérica, podendo encontrar mais detalhes nos estudos desenvolvidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (JACOMINE et al., 1973a, b; JACOMINE et al., 1975; JACOMINE et al., 1976; JACOMINE et al., 1977; JACOMINE et al., 1986; JACOMINE et al., 1996).

Diante das condições edafoclimáticas do SAB, a vegetação dominante é a caatinga, englobando mais de 844,4 mil km<sup>2</sup>, contendo mais de 1,5 mil espécies florísticas, das quais

mais de 30% são endêmicas, composta por plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas e cactáceas, na sua maioria xerófitas com boa adaptação ao ambiente hostil (ALBUQUERQUE et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2014; MILLIKEN et al., 2018). Grande parte da vegetação perde suas folhas no período seco, como estratégia de sobrevivência, com rápida retomada do dossel e acelerado desenvolvimento na estação chuvosa, assegurando a continuidade das espécies (SANTOS et al., 2010). No entanto, a Caatinga sofre grande pressão antropogênica devido aos sistemas agropecuários, tendo apenas 0,28% dessa resguardadas como reserva legal (SÁNCHEZ et al., 2018).

Acredita-se que 10,5 milhões de pessoas vivam em zonas rurais no SAB, encontrando-se estritamente dependentes das atividades agropecuária, ao passo que essas contribuem para o desenvolvimento e funcionamento socioeconômico dessas comunidades (ANDRADE; NUNES, 2014). De acordo com Simões et al. (2010) e Medeiros et al. (2020) o conjunto de fatores climáticos e sociais impõe forte pressão sobre o frágil ecossistema dessa região. Os sistemas de produção no SAB são formados basicamente por pequenas propriedades de agricultores familiares, os quais dependem basicamente de dois sistemas como fonte de renda, estando a pecuária em primeiro e a agricultura em segundo (SILVA et al., 2018). Esse primeiro, muitas vezes praticado de maneira desordenada, com a criação de ruminantes de forma extensiva com alta intensidade, acarretando em forte pressão de pastejo, impactando negativamente sobre os solos e a vegetação local, trazendo grandes riscos à degradação ambiental (e.g., desertificação) (AGUIAR et al., 2010; ALVES et al., 2017).

Segundo Souza et al. (2020) a criação de gado em sistemas de pastejo extensivo em áreas de caatinga, em média, é necessário  $13,3 \text{ ha animal}^{-1}$  para deter respostas satisfatórias, podendo variar de acordo com a produção de biomassa da vegetação de cada região, expondo a necessidade de grandes áreas de pastagens nativa para a criação desses rebanhos. Segundo os mesmos autores, muitas vezes as taxas de lotação são desrespeitadas, acarretando em forte pressão de pastejo e influenciando no processo de compactação e perda dos solos por erosão. Além desse excesso de pastejo, o ciclo vicioso continuado dos rebanhos em uma mesma área, prática habitual de muitos produtores no SAB, acarreta em degradação das pastagens, provocando atenuação na produtividade das forrageiras e sintetizando a lucratividade dos rebanhos (TINSLEY et al., 2019).

Já a agricultura representa uma atividade mais instável quando comparado a pecuária, representando uma diminuta parcela do seguimento econômico das propriedades rurais do SAB, devido à grande vulnerabilidade dos sistemas produtores aos eventos climáticos, os quais

frequentemente são produzidos em sequeiro, acarretando em perdas parciais ou totais da produção (LIMA et al., 2016). Não longe dos impactos climáticos na agricultura, as ações antropogênicas advindas da falta de conhecimento e informação, intensificam a lacuna entre potencial produtivo e rendimento real nessa região. Esses fatores, muitas vezes utilizam-se de técnicas nocivas ao meio ambiente, como o corte e queima da caatinga para abertura de novas áreas, o plantio convencional e práticas como o monocultivo, tendo como resultante a perda da fertilidade natural e redução de potencial produtivo, com posterior abandono da terra (NUNES; BENNETT; MARQUES, 2014).

Notoriamente, esse contexto demonstra a carência de inovações tecnológicas e transferência de conhecimentos benéficos aos sistemas de produção situados no SAB, sendo de grande importância o uso de técnicas agrícolas que venham a melhorar os sistemas de produção, promovendo maiores retornos socioeconômicos. Inúmeros trabalhos mostram a melhoria dos sistemas de produção e aumento na produtividade das culturas devido à adoção de técnicas agrícolas, tais como, irrigação, práticas conservacionistas, uso de culturas adaptadas às condições locais e o consórcio entre elas, afim de um melhor aproveitamento dos recursos biofísicos (WANG et al., 2018; NASCIMENTO et al., 2019; ZHANG et al., 2019).

#### 4.2. Estratégias agrícolas para aumento da resiliência

A resiliência está relacionada a capacidade de um sistema e/ou suas partes, em absorver e enfrentar um acontecimento, propensão ou perturbação de risco, mantendo-se funcional e amortecendo os impactos sofridos nas diversas escalas (i.e. social, econômica e ambiental) (IPPC et al., 2012; ROY et al., 2019). No entanto, os sistemas de produção agrícola nos países em desenvolvimento são muitas vezes negligenciados do ponto de vista técnico, com diminuta eficácia nos rendimentos e procedimentos que intensificam a degradação ambiental e dificultam a resiliência desses (DILE et al., 2013), como os exercidos no Semiárido brasileiro. Assim, no âmbito agrícola, as inclinações têm-se voltado para o reconhecimento de práticas logísticas e mecanismos subjacentes que auxiliam na resiliência, dando suporte aos sistemas de produção em meio às tensões ambientais (PETERSON; EVINER; GAUDIN, 2018).

##### 4.2.1. Plantas adaptadas a região

Os baixos regimes de chuva recorrentes no semiárido brasileiro (SAB) são um dos principais entraves na produção e oferta regular de forragem nativa ou cultivada em pequenas propriedades familiares, uma vez que, apresentam grande variabilidade intra e inter anual, tendo mais relevância com as projeções das mudanças climáticas, visto que as estimativas são de acréscimo das temperaturas médias e aumento no déficit hídrico (LEDRU et al., 2020; COSTA et al., 2020). Por conseguinte, é decisivo o uso de artifícios que amortizem os riscos inerentes as exigências de água das plantas, como a utilização de plantas habituadas a essas eventualidades, desenvolvendo a resiliência (LOBATO et al., 2020).

A Caatinga, por sua vez, possui grande número de plantas com potencial forrageiro, as quais apresentam boa adaptação as condições impostas pelo ambiente, com uma grande variedade de plantas anuais, cactáceas, graminhas e leguminosas (SANTOS et al., 2010). Essa vegetação apresenta mecanismos peculiares de caráter fisiológicos, anatômicos e morfológicos, para o enfrentamento do déficit hídrico prolongado, desde a queda das folhas nos períodos de estiagem para redução da área transpirante até um eficiente sistema radicular que molda-se as condições do ambiente (PINHEIRO; COSTA; ARAÚJO, 2013). No entanto, mesmo com plantas bem adaptadas ao clima, a caatinga oferece baixa capacidade de suporte, com produção média entre 1,5 e 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca, a depender do período do ano (PEREIRA FILHO; SILVA; CÉZAR, 2013).

As cactáceas nativas encontram-se como alternativa na alimentação animal, devido sua boa adaptabilidade, essas possuem grande quantidade de espinhos, os quais ajudam na condensação da água e diminuição da temperatura das estruturas vegetativas, além de ser mecanismo de defesa, dificultado o consumo (CAVALCANTI; RESENDE, 2007). Dentre as cactáceas mais usadas nos períodos prolongados de estiagem encontram-se o Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) e o Xiquexique (*Pilosocereus gounellei* [A. Weber ex K. Schum.]). Segundo Silva *et al.* (2005), a inclusão de xiquexique na dieta de vacas leiteiras em substituição a silagem de sorgo não apresentou alterações na composição química e na produção de leite. Já para Cavalcanti, Resende (2006), estudando dietas para caprinos a base de mandacaru, observaram que o mesmo não atende as exigências nutricionais dos animais, acarretando em perda de peso quando em uso exclusivo.

Apesar da ampla utilização das pastagens nativas, dentre elas os cactos, são aproveitadas de forma extrativista, sem que haja o hábito de cultivo ou manejo adequado, podendo levar a eliminação dessas em paisagens naturais (FURTADO et al., 2019). Uma alternativa para a preservação da flora nativa seria a utilização de espécies exóticas cultivadas e adaptadas as

condições edafoclimáticas do SAB, como a palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) e o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), contribuindo para estabilização dos sistemas de produção, melhorando a oferta de forragem ao longo do ano e amortizando os impactos causados pelas estiagens no âmbito socioeconômico e ambiental (ALMEIDA et al., 2018; MORAES et al., 2019; QUEIROZ et al., 2020).

#### 4.2.1.1. Palma forrageira

Os fatores climáticos no SAB, são os principais responsáveis pelo êxito ou fracasso dos sistemas de produção, definindo a disponibilidade e qualidade das pastagens, promovendo a estacionalidade das mesmas, gerando a instabilidade e os baixos índices zootécnicos. Por esse motivo, é importante o uso de plantas forrageiras adaptadas as condições dessa região e, que persistam por um período prolongado, minimizando os problemas com a falta de forragem no período de escassez hídrica (SANTANA NETO; OLIVEIRA; VALEN, 2015). A palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) apresenta satisfatória adaptação as zonas áridas e semiáridas, devido as suas características morfológicas e fisiológicas, apresentando tolerância a longos períodos de deficit hídrico, com um relevante aproveitamento do uso da água (QUEIROZ et al., 2015).

A palma forrageira apresenta o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), mas a depender das condições impostas pelo ambiente, como disponibilidade hídrica, a mesma pode alternar o metabolismo de algumas estruturas entre C3 e MAC (e.g. brotos jovens e botões florais), apresentando-se nesta condição uma espécie de metabolismo facultativo (SILVA et al., 2017). Em condições de restrição hídrica prevalece a captação de CO<sub>2</sub> no período noturno, minimizando as perdas de água pela transpiração, devido as baixas temperaturas, ao passo que mantem os estômatos fechados durante o dia, o qual apresenta superior demanda atmosférica, assim os cactos identificam-se mais eficientes no uso da água, quando comparadas as espécies de metabolismo C3 e C4 (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; GUSHA et al., 2015).

A adaptabilidade dos cactos não está apenas no metabolismo eficiente, mas, em um conjunto de características intrínsecas, como seguimentos suculentos com elevada capacidade de acúmulo de água e fotossinteticamente ativos denominados cladódios, análogos a caules, reduzida quantidade de estômatos, cutícula espessa e um sistema radicular altamente adaptado, respondendo rapidamente as transições do ambiente (OLIVEIRA et al., 2010; HASSAN et al., 2020). O sistema radicular encontra-se em maior expressividade nos primeiros 0,30 m do solo,

podendo ser classificadas em quatro tipos: estruturais, em esporão, as desenvolvidas de aréolas e as absorventes ou raízes de chuva, por sua vez, essas últimas desenvolvem-se nas primeiras horas após a ocorrência da primeira chuva, posteriormente ao período de estiagem, desaparecendo com a restrição hídrica (DRENNAN; NOBEL, 1998; SNYMAN, 2006; HASSAN et al., 2019).

Esses fatores adaptativos proporcionam grande capacidade de produção de fitomassa, podendo ser usada como estratégia de reserva forrageira, para mitigar os efeitos negativos da oferta de forragem nos períodos secos do ano, proporcionando melhorias na sustentabilidade da pecuária regional (SILVA et al., 2014c; MORAES et al., 2019). Essa cactácea apresenta alta produção de massa seca por unidade de área, segundo Oliveira et al. (2018b) pode alcançar até 40 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, além de apresentar alto conteúdo energético. Corroborando com esses autores, Moraes et al. (2019) também citam produtividades de palma forrageira no SAB em torno de 50 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, apresentando-se bem superior a própria vegetação nativa (i.e., Caatinga) e outras culturas de uso convencional para a produção de silagem, como o milho, com produção < 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 8,04 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em termos econômicos alguns estudos mostram que a produção de palma forrageira pode gerar não só a estabilidade da oferta de forragem nos sistemas de produção, mas garantir renda proveniente da venda direta da cultura, sendo essa de duas formas: a) forragem e, b) “sementes” (cladódios para plantio). A primeira, consiste na venda da planta por tonelada (média, R\$ 100,00 Mg<sup>-1</sup>), exclusivamente para alimentação animal, concentrando-se valor inferior de comercialização quando comparado à “semente”, o qual apresenta maior valor de mercado (R\$ 0,15 por unidade), sendo empregado para o plantio de novas áreas (LIMA *et al.*, 2018b). Segundo Dantas, Lima, Mota (2017), avaliando os aspectos econômicos da produção de palma forrageira adensada sob irrigação, o sistema proporcionou receita líquida de R\$ 22.552,20 no primeiro ano de cultivo, mostrando-se viável a implantação do projeto com produtividades acima de 70,0 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria fresca.

Além dos benefícios produtivos e econômicos a palma pode proporcionar benefícios ambientais, trazendo melhorias à conservação do solo, com contribuição para as propriedades físicas, recuperando a estrutura do solo, beneficiando a permeabilidade e potencializando o acúmulo de água no solo (NEFZAOU; LOUHAICHI; SALEM, 2014). Santos, Montenegro, Silva (2011), estudando a umidade do solo no semiárido pernambucano, com distintas coberturas, constataram que o solo cultivado com palma forrageira não proporcionou escoamento superficial, além de apresentar boas condições de armazenamento de água no seu

perfil. Assim, a utilização de palma forrageira pode trazer benefícios socioambientais para os sistemas de produção no semiárido brasileiro, com a possibilidade de implantação dessa cultura em áreas marginais, com diminuta capacidade de suporte a agricultura convencional (SANTOS et al., 2016; SOUZA FILHO et al., 2016).

Apesar de toda essa potencialidade, a palma forrageira é muitas vezes cultivada de forma marginal, sem a utilização de técnicas adequadas de manejo, podendo não alcançar todo o seu potencial produtivo (SANTOS; PEREZ-MARIN; SARMENTO, 2018). Estudos mostram que são significativos os ganhos na produção da cultura através de práticas como irrigação e nutrição mineral e/ou orgânica (ZEGBE; SERNA-PÉREZ; MENA-COVARRUBIAS, 2014). Podendo ser utilizada em sistemas de consórcio, melhorando a oferta de forragem e possibilitando um melhor aproveitamento dos recursos biofísicos (LIMA et al., 2018b; JARDIM et al., 2020).

#### 4.2.1.2. Milheto

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), é uma gramínea anual de ciclo curto, geralmente cultivada em climas quentes, estando entre os seis cereais mais importantes, depois do trigo, arroz, milho, sorgo e cevada, com aproximadamente 31 milhões de hectares plantados no mundo (ULLAH et al., 2017). É bastante utilizado em regiões áridas e semiáridas, devido sua baixa exigência hídrica, podendo ser cultivado em locais que apresentem precipitação pluviométrica inferior à 350 mm ano<sup>-1</sup>, sendo considerado uma cultura tolerante a seca (BELLO; WALKER; TESHUHUNEY, 2019; SILVA et al., 2020).

A cultura do milheto geralmente é cultivada em locais secos apresentando satisfatório desempenho em solos de baixa fertilidade, com alta salinidade e pH ácido. É amplamente utilizado na alimentação humana e animal, devido as características de fácil cultivo e nutricionais (YADAV; RENGASAMY; GUPTA, 2019). No entanto, pesquisas tem mostrado respostas favoráveis as condições de crescimento da cultura em adoção de práticas como a irrigação, nutrição mineral e tempo de corte (SHAHIN et al., 2013; BELLO; WALKER; TESHUHUNEY, 2019).

No Brasil, a utilização do milheto vem apresentando grande expansão, principalmente no Cerrado, podendo ser empregada como cultura de sucessão na formação de palhada nos sistemas de plantio direto, na produção de grãos em substituição do milho e para produção de silagem, devido seu rápido crescimento, rusticidade e sistema radicular profundo, trazendo

benefícios na ciclagem de nutrientes e na descompactação do solo, apresentando baixos riscos de insucesso aos sistemas de produção (GUIMARÃES et al., 2013; SILVA et al., 2014a).

Devido sua aptidão, essa cultura apresenta versatilidade de usos, como forrageira de excelente qualidade de silagem, boa cobertura de solo e, produção de grãos com elevado valor nutritivo, com alta capacidade de rebrota e alto potencial produtivo. Surgindo-se ainda, como alternativa aos sistemas de produção animal no SAB, trazendo melhorias socioeconômicas para a agricultura familiar desta região (MOREIRA et al., 2015; FÁTIMA; VITAL; SANTOS, 2015).

#### 4.2.2. Sistemas de consorciação na agricultura

A utilização de práticas agrícolas insustentáveis são as principais causas do processo de degradação do solo em terras agricultáveis, promovendo alterações na cobertura vegetal, perdas de solo por erosão e queda de rendimento das culturas, motivando o abandono dessas áreas (SALAH; PRASSE; MARSCHNER, 2016). No entanto, a utilização de práticas que melhorem o aproveitamento dos recursos biofísicos e aumente a cobertura do solo é tida como alternativa para ambientes áridos e semiárido vulneráveis as ações climáticas e antropogênicas, mitigando os processos de desertificação (QIAN et al., 2018). A consorciação entre culturas pode agregar tais benefícios aos sistemas de produção. Essa prática consiste no cultivo simultâneo de duas ou mais culturas convivendo por um período de tempo na mesma área (MASVAYA et al., 2017).

A consorciação traz vantagens para os sistemas que se apropriam dessa prática, visando melhorar a eficiência no uso da terra, radiação fotossinteticamente ativa, eficiência no uso da água e nutrientes, como também a complementariedade interespecífica para maximização dos rendimentos das espécies utilizadas em comparação aos seus monocultivos (ZHANG et al., 2019a). É amplamente discutido o uso do consórcio para aliviar os efeitos da insegurança alimentar em muitas áreas de produção, sendo adotado como um dos meios para alcançar uma intensificação sustentável nos sistemas de produção em zonas áridas e semiáridas (YIN et al., 2020). No entanto, essa não é uma prática comumente adotada em grandes sistemas de produção, no qual fazem o emprego de elevada tecnificação, com implementos especializados aos sistemas de monocultivo, ao passo que, é comumente adotada em sistemas de produção familiar, em pequenas parcelas de terra (BROOKER et al., 2015), como as encontradas no semiárido brasileiro.

Todavia a prosperidade dos sistemas de produção consorciados depende da escolha adequada das espécies que compõem os sistemas, e a densidade que as culturas componentes se encontram, para garantir que as mesmas não exerçam antagonismo significativos sobre os rendimentos interespecíficos, acarretando em declínio de produção (OLIVEIRA FILHO et al., 2016). Nessa prática, é desejável, que as culturas afins ocupem diferentes nichos ecológicos, garantindo a maximização no uso dos recursos (HU et al., 2016). Apesar de ser amplamente utilizado e promissor, nos últimos anos o uso de sistemas consorciados declinou em áreas com reduzida disponibilidade hídrica, uma vez que o aumento no estande de plantas acarreta em maior demanda por água, refletindo no potencial produtivo das culturas componentes (YIN et al., 2020).

No Semiárido brasileiro, a consorciação entre culturas é uma prática bastante comum entre os agricultores em pequenas propriedades rurais, sendo bastante empregado o cultivo entre espécies C4 e C3 (*Zea mays* L. e *Vigna unguiculata* (L.) Walp.), respectivamente, (SOUZA et al., 2011). Embora essas culturas sejam as mais utilizadas em sistemas consorciados na agricultura de subsistência, são fortemente afetadas pela sazonalidade das chuvas, havendo a necessidade do emprego de espécies tolerantes ao meio edafoclimático e, que apresentem efeitos compensatórios as interações interespecíficas, afim de somar ganhos aos sistemas de produção, melhorando a estabilidade e a organização socioeconômica dessas localidades (DUTRA et al., 2017; CAMPOS et al., 2017; JARDIM et al., 2020).

A utilização de consórcio entre espécies de cactos e gramíneas tem sido bastante explorado em ambientes com elevada demanda atmosférica, afim de minimizar as perdas de rendimento e fornecer uma melhor estabilidade para os sistemas de produção no semiárido brasileiro, no qual, comumente são empregados a palma forrageira (*Nopalea* sp. e *Opuntia* sp.) em consórcios com o *Sorghum bicolor* (DINIZ et al., 2017; CARVALHO et al., 2017; LIMA et al., 2018a). Outra planta bastante promissora é o *P. glaucum* (milheto), o qual apresenta grande tolerância ao deficit hídrico, com baixo consumo de água por ciclo e elevada produção de fitomassa (HERRADA; LEANDRO; FERREIRA, 2017). Essa cultura é bastante explorada em países da África, Ásia e Índia, em cultivos consorciados com leguminosas (DUCHENE; VIAN; CELETTE, 2017; NELSON et al., 2018; GONG et al., 2021). No entanto, o uso do milheto no Brasil, é mais apreciado nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (CALVO; FOLONI; BRANCALIÃO, 2010). Havendo grande incipiência dos estudos de sistemas consorciado com essa cultura no Semiárido brasileiro.

#### 4.2.3. Manjo da irrigação em ambiente semiárido

A produção agrícola é fortemente dependente dos fatores climáticos. Em regiões áridas e semiáridas a disponibilidade de água, muitas vezes limitadas aos eventos de chuva, geram grandes riscos aos sistemas agrícolas, inferindo perdas parciais e/ou totais da produção (NDIRITU, 2020). Contrariamente, as mudanças nos hábitos de consumo e crescimento populacional exercem forte tensão aos sistemas produtores, que por sua vez, necessitam intensificar a produção (ROWLAND; SMITH; TAYLOR, 2018). A irrigação é uma prática essencial para sustentar a produção agrícola, principalmente em períodos de escassez de chuvas (YUFENG et al., 2021), contribuindo para a seguridade da produção e garantindo melhor estabilidade socioeconômica. Essa prática permite o fornecimento de água as culturas, sendo essa, a principal determinante da produção de biomassa, tendo ligação direta com o turgor, a fotossíntese, dissolução e absorção de nutrientes, entre outros processos fisiológicos (ADU et al., 2018).

A agricultura irrigada realiza um papel essencial no sistema global de produção de alimentos, responsabilizando-se por mais de 40% da produção mundial em menos de 20% das terras cultivadas. Os rendimentos das culturas em sistemas de produção irrigados são cerca de 2,7 vezes maiores do que os da agricultura de sequeiro em escala mundial (SOTO-GARCÍA et al., 2013).

A utilização de irrigação apresenta grandes vantagens aos sistemas agropecuários, porém, a água para uso agrícola está progressivamente se transformando em um produto escasso, em especial nas regiões quentes e secas, com amplificação em decorrência das mudanças climáticas. Esse cenário, juntamente com práticas de irrigação ineficientes, limitam o desenvolvimento produtivo das fazendas (YAVUZ et al., 2015). Nesse sentido, o uso sustentável da água para irrigação é uma prioridade em regiões de terras secas, necessitando estratégias eficientes para economia hídrica, melhorando o seu aproveitamento pelo sistema, com o menor impacto ambiental (DINGRE; GORANTIWAR, 2020).

Em regiões áridas e semiáridas o gerenciamento correto da água de irrigação é fundamental, visto que essas áreas são propícias a problemas de salinização do solo, devido a elevada demanda atmosférica e diminuta disponibilidade de água com boa qualidade para esse fim, muitas vezes, utilizando-se de fontes subterrâneas com elevada concentração de sais. Estima-se que mais de 800 milhões de hectares de campos cultivados sejam acometidos por problemas de salinização secundária (e.g., via água de irrigação), assumindo progressões anuais

(MINHAS et al., 2020). Mas, para muitas regiões, as águas subterrâneas e com elevada carga de sais são a principal fonte para fins agrícolas (BAHIR et al., 2020).

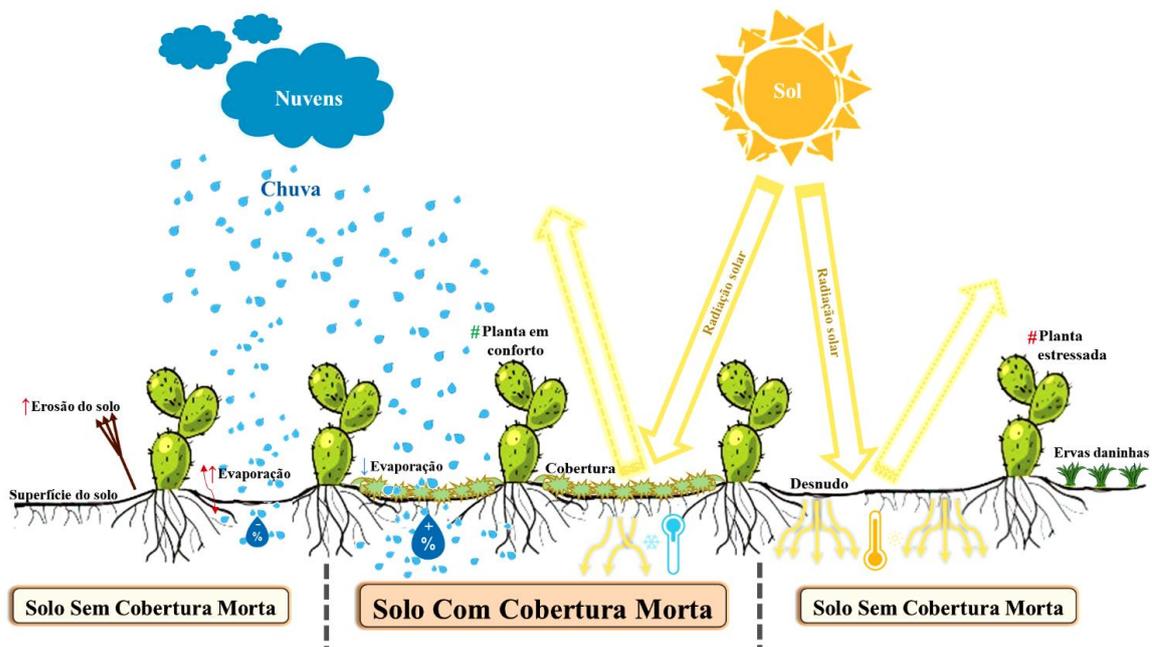
No Brasil, em especial na região semiárida, encontra-se extensas áreas propensas a problemas causados pela salinização secundária do solo (CAVALCANTI et al., 2018). Nesse seguimento, o manejo racional da água via irrigação pode minimizar os impactos dessa prática, bem como promover uma melhor eficiência do seu uso, garantindo melhores rendimentos das safras (DINGRE; GORANTIWAR, 2020). Em todo o mundo, a comunidade científica tem sugerido inúmeros métodos e manejo da irrigação para melhorar o rendimento das culturas sem que ocorra grandes impactos ambientais, dentre eles estão, o uso de sistemas de irrigação mais eficientes, como por gotejo, irrigação com base nas necessidades das culturas, irrigação deficitária e práticas conservacionistas integradas a irrigação (YANG et al., 2020; CHAUHDARY et al., 2020; ER-RAKI et al., 2021).

A utilização de irrigação deficitária é tida como a aplicação de água em quantidades reduzidas às necessidades absolutas das culturas, afim de melhorar o rendimento das safras, bem como reduzir o consumo de água, ou então, possibilitando utilizar-se da mesma quantidade de água para abastecer uma maior área cultivada (MEMON et al., 2021). Mas, segundo os mesmos autores, a irrigação por deficit depende da cultura e do estágio de desenvolvimento que a mesma se encontra ou em que momento será aplicado a restrição hídrica, sendo esses fatores, o limite entre perda ou ganho de rendimento. Yufeng et al. (2021) relatam que essa prática pode aumentar em até 29% o rendimento do milho em ambiente semiárido. Queiroz et al. (2015) estudando a palma forrageira no semiárido brasileiro, observaram que a cultura irrigada obteve melhores rendimentos quando comparado ao cultivo em sequeiro.

O emprego da irrigação com práticas conservacionista como o uso de cobertura morta pode trazer grandes contribuições para os sistemas de produção em ambientes deficitários, melhorando a distribuição da água e reduzindo a perda de água do solo por evaporação. Nesse sentido, torna-se sensato, a utilização racional dessas práticas para elevar os rendimentos das culturas em ambientes secos e reduzir os impactos ambientais, estabilizando os sistemas e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades rurais (PAUL et al., 2020).

#### 4.2.4. Cobertura morta

A cobertura do solo com filmes plásticos ou com palhada de restos culturais é uma prática agrônômica bastante promissora em ambientes secos, afim de melhorar o rendimento produtivo das culturas, ajudando na resiliência das fazendas (ZHANG et al., 2019b). Essa prática consiste no recobrimento da terra arável, afim de proteger o solo contra a incidência direta de radiação solar, com melhorias na flutuação térmica, reduzindo a amplitude, proporcionando uma melhor distribuição da umidade no solo, favorecendo o maior espalhamento do sistema radicular, reduzindo as perdas de água por evaporação, ajudando no controle de ervas espontâneas e melhora os aspectos físico-químicos do solo, com a deposição de matéria orgânica e posterior mineralização (JIMÉNEZ et al., 2017). Esses benefícios podem ser observados na Fig. 2.



**Figure 2.** Benefícios do uso de cobertura morta em sistemas de cultivo (ALVES et al., 2018)

A utilização de cobertura morta de filme plástico é bastante difundida em algumas regiões, tendo em vista, que o uso a curto prazo, possibilita benefícios ao cultivo, com melhoras no rendimento, mas, a longo prazo, as consequências são exacerbadas, provocando consumo excessivo da água e nutrientes do solo, impedindo a infiltração da água da chuva, deteriorando a estrutura do solo, dificultando o crescimento radicular, refletindo na diminuta produtividade das culturas, agravando os sistemas produtores, tornando-os insustentáveis (CHEN et al., 2019). A cobertura de filme plástico, produz elevada quantidade de resíduo no campo, sendo raras as

práticas de reciclagem no material, causando a poluição do ambiente agrícola, modificando as características físicas do solo, além de possuir uma molécula estável com elevado tempo de decomposição (GU et al., 2020). Nesse sentido, de acordo com Chen et al. (2019), a utilização de cobertura morta com restos de palha de culturas é uma alternativa ecológica e mais sustentável.

A utilização de resíduos culturais para o recobrimento do solo promove maiores benefícios em relação ao filme plástico, por ser um material orgânico sem riscos de degradação do ambiente. A sua utilização é promissora na melhoria da eficiência do uso da água pelas culturas, aumentando as características de consumo de água pelas plantas, com reflexo na elevada produção de biomassa, uma vez que a cobertura do solo promove uma menor perda de água por evaporação, disponibilizando e/ou direcionando a água remanescente no solo para a transpiração das plantas, aumentando os processos metabólicos, com reflexos positivos nos rendimentos (ZHANG et al., 2020).

Os benefícios da utilização de cobertura morta sobre o solo, podem ser empregadas em regiões como o semiárido brasileiro, minimizando os impactos causados pela sazonalidade das chuvas, por meio da conservação da umidade do solo, e mitigando as ações antropogênicas, minimizando os processos erosivos, com contribuição para a preservação dos solos e elevação na produtividade das safras (BORGES et al., 2014; SILVA et al., 2019). Vários relatos demonstram a elevação dos rendimentos das plantas e maior retorno econômico em cultivo com uso de cobertura morta de palha (GAO et al., 2019; AKHTAR et al., 2020). Amorim et al. (2017) estudando plantas forrageiras no semiárido brasileiro em cultivo com cobertura morta de palha, tiveram incremento de até 62% no rendimento de matéria seca, em relação ao cultivo controle (sem cobertura).

Diante de tais fatos, o uso de cobertura morta de palha sobre o solo, auxilia na melhoria dos sistemas de produção em terras secas, contribuindo para o aumento produtivo das culturas, influenciando na estabilidade socioeconômica-ambiental das fazendas. Ademais, é uma prática que pode ser implementada à baixos custos, apresentando forte influência na capacidade de recuperação e/ou amortização dos impactos, garantindo a resiliência dos sistemas de produção.

## **5. Considerações finais**

A revisão apresentou as principais características do Semiárido brasileiro, bem como, o manejo ineficiente na produção agropecuária e suas limitações frente as mudanças climáticas,

dificultando a estabilidade socioeconômica e ambiental da região. Entretanto, várias pesquisas evidenciam as melhorias nos sistemas de produção a partir do manejo integrado de práticas agronômicas, tornando possível o enfrentamento aos impactos climáticos e ambientais, e assim, alterando a capacidade de resiliência dessas áreas.

Desse modo, mais pesquisas são encorajadas com a utilização de sistemas consorciados em ambiente semiárido com a palma forrageira e gramíneas integradas a práticas agronômicas, visando uma melhoria nos sistemas e, favorecendo uma estabilidade de forragem e retorno econômico para os produtores, seja na venda da matéria prima, ou pela performance produtiva dos animais.

## 6. Referências

ADU, M. O.; YAWSON, D. O.; ARMAH, F. A.; ASARE, P. A.; FRIMPONG, K. A. Meta-analysis of crop yields of full, deficit, and partial root-zone drying irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 197, p. 79–90, 2018.

AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. da S.; DE SÁ MENDONÇA, E.; FILHO, J. A. A.; DE OLIVEIRA, T. S. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 79, n. 3, p. 277–289, 2010.

AKHTAR, K.; WANG, W.; REN, G.; KHAN, A.; ENGUANG, N.; KHAN, A.; FENG, Y.; YANG, G.; WANG, H. Science of the Total Environment Straw mulching with inorganic nitrogen fertilizer reduces soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions and improves wheat yield. **Science of the Total Environment**, v. 741, p. 140488, 2020.

ALBUQUERQUE, U. P. *et al.* **Caatinga revisited: Ecology and conservation of an important seasonal dry forest**. [S. l.]: Hindawi Limited, 2012.

ALMEIDA, M. C. R.; LEITE, M. L. de M. V.; SÁ JÚNIOR, E. H. de; CRUZ, M. G. da; MOURA, G. A. de; MOURA, E. A. de; SÁ, G. A. dos S.; LUCENA, L. R. R. de. Crescimento vegetativo de cultivares de milho sob diferentes disponibilidades hídricas. **Magistra**, v. 29, n. 2, p. 161–171, 2018.

ALVES, H. K. M. N.; JARDIM, A. M. da R. F.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F. The application of agrometeorological techniques contributes to the agricultural resilience of

forage cactus: A review. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 2, n. 3, p. 207–220, 2018.

ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V. DE; CÂNDIDO, G. A.; ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V. DE; CÂNDIDO, G. A. Socioeconomic indicators and desertification in the upper course of the Paraíba river watershed. **Ambiente & Sociedade**, v. 20, n. 2, p. 19–38, 2017.

AMORIM, D. M.; FREIRE DA SILVA, T. G.; DE, P.; PEREIRA, C.; BASTOS DE SOUZA, L. S.; MINUZZI, R. B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Agropec. Trop**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.

ANDRADE, J. A. De; NUNES, M. A. Acesso à água no Semiárido Brasileiro : uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista espinhaço**, v. 3, n. 2, p. 28–39, 2014.

ARAÚJO, M. S. B.; SCHAEFER, C. E. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Soil phosphorus fractions from toposequences of semi-arid Latosols and Luvisols in northeastern Brazil. **Geoderma**, v. 119, n. 3–4, p. 309–321, 2004.

BAHIR, M.; OUHAMDOUCH, S.; OUAZAR, D.; EL MOÇAYD, N. Climate change effect on groundwater characteristics within semi-arid zones from western Morocco. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 11, n. February, p. 100380, 2020.

BATISTÃO, A. C.; HOLTHUSEN, D.; REICHERT, J. M.; PORTELA, J. C. Soil solution composition affects microstructure of tropical saline alluvial soils in semi-arid environment. **Soil and Tillage Research**, v. 203, n. November 2019, p. 104662, 2020.

BELLO, Z. A.; WALKER, S.; TESFUHUNEY, W. Water relations and productivity of two lines of pearl millet grown on lysimeter with two different soil types. **Agricultural Water Management**, v. 221, p. 528–537, 2019.

BORGES, T. K. de S.; MONTENEGRO, A. A. de A.; SANTOS, T. E. M. dos; SILVA, D. D. da; SILVA JUNIOR, V. de P. e. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 38, n. 1, p. 1862–1873, 2014.

BROOKER, R. W. *et al.* Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. **New Phytologist**, v. 206, n. 1, p. 107–117, 2015.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de

corte. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 77–86, 2010.

CAMPBELL, B. M.; THORNTON, P.; ZOUGMORÉ, R.; VAN ASTEN, P.; LIPPER, L. Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 8, p. 39–43, 2014.

CAMPOS, F. S.; GOIS, G. C.; VICENTE, S. L. A.; MACEDO, A. de; MATIAS, A. G. da S. Alternativa de forragem para caprinos e ovinos criados no semiárido. **Nutritime Revista Eletrônica**, v. 14, n. 2, p. 5004–5013, 2017.

CARVALHO, A. A. De; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B. De; MOURA, M. S. B. De; ARAUJO, G. G. L. De; TOLÊDO, M. P. S. Soil moisture in forage cactus plantations with improvement practices for their resilience. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 481–487, 2017.

CAVALCANTI, N. D. B.; RESENDE, G. M. Consumo de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.) por caprinos na época seca no semi-árido de Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 402–408, 2006.

CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M. Efeito de diferentes substratos no desenvolvimento de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.), facheiro (*Pilosocereus pachycladus* RITTER), Xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (A. WEBER EX K. SCHUM.) BLY. EX ROWL.) e coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis* BRITTON). **Revista Caatinga**, v. 20, n. 1, p. 28–35, 2007.

CAVALCANTI, N. de S.; ROLIM, M. M.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; BARROS, M. de F. C.; PEDROSA, E. M. R. Resíduo de gesso na recuperação de solo salino-sódico proveniente de perímetro irrigado do semiárido brasileiro. **Irriga**, v. 25, n. 3, p. 505–517, 2018.

CHAUHDARY, J. N.; BAKHSH, A.; RAGAB, R.; KHALIQ, A.; ENGE, B. A.; RIZWAN, M.; SHAHID, M. A.; NAWAZ, Q. Modeling corn growth and root zone salinity dynamics to improve irrigation and fertigation management under semi-arid conditions. **Agricultural Water Management**, v. 230, n. November 2019, p. 105952, 2020.

CHEN, Y.; CHAI, S.; TIAN, H.; CHAI, Y.; LI, Y.; CHANG, L.; CHENG, H. Straw strips mulch on furrows improves water use efficiency and yield of potato in a rainfed semiarid area. **Agricultural Water Management**, v. 211, n. July 2018, p. 142–151, 2019.

COSTA, R. L.; MACEDO DE MELLO BAPTISTA, G.; GOMES, H. B.; DANIEL DOS

SANTOS SILVA, F.; LINS DA ROCHA JÚNIOR, R.; DE ARAÚJO SALVADOR, M.; HERDIES, D. L. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, v. 28, p. 100254, 2020.

CUNHA, A. P. M.; ALVALÁ, R. C.; NOBRE, C. A.; CARVALHO, M. A. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, p. 494–505, 2015.

CUNHA, T. J. F., PETRERE, V. G., SILVA, D. J., MENDES, A. M. S., MELO, R. F., OLIVEIRA NETO, M. B., ... & ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**. 2010.

DANTAS, S. F. de A.; LIMA, G. F. da C.; MOTA, E. P. da. Economic feasibility of irrigated forage cactus in narrow rows in the Potiguar semiarid. **Revista iPecege**, v. 3, n. 1, p. 59–74, 2017.

DILE, Y. T.; KARLBERG, L.; TEMESGEN, M.; ROCKSTRÖM, J. The role of water harvesting to achieve sustainable agricultural intensification and resilience against water related shocks in sub-Saharan Africa. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 181, n. 2013, p. 69–79, 2013.

DINGRE, S. K.; GORANTIWAR, S. D. **Soil moisture based deficit irrigation management for sugarcane ( *Saccharum officinarum* L .) in semiarid environment**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106549>.

DINIZ, W. J. da S.; DA SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. da S.; DOS SANTOS, D. C.; DE MOURA, M. S. B.; DE ARAÚJO, G. G. L.; ZOLNIER, S. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 724–733, 2017.

DRENNAN, P. M.; NOBEL, P. S. Root growth dependence on soil temperature for *Opuntia ficus-indica*: Influences of air temperature and a doubled CO<sub>2</sub> concentration. **Functional Ecology**, v. 12, n. 6, p. 959–964, 1998.

DUCHENE, O.; VIAN, J. F.; CELETTE, F. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 240, p. 148–161,

2017.

DUTRA, W. F.; DE MELO, A. S.; DUTRA, A. F.; BRITO, M. E. B.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MENESES, C. H. S. G. Photosynthetic efficiency, gas exchange and yield of castor bean intercropped with peanut in semiarid Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 106–110, 2017.

ER-RAKI, S.; EZZAHAR, J.; MERLIN, O.; AMAZIRH, A.; HSSAINE, B. A.; KHARROU, M. H. Performance of the HYDRUS-1D model for water balance components assessment of irrigated winter wheat under different water managements in semi-arid region of Morocco. **Agricultural Water Management**, v. 244, n. September 2020, p. 106546, 2021.

FÁTIMA, A. De; VITAL, M.; SANTOS, D. Características agrônômicas do milho adubado com diferentes fontes orgânicas. **Agrotec**, v. 36, n. 1, p. 303–309, 2015.

FLORES-HERNÁNDEZ, A.; ORONA-CASTILLO, I.; MURILLO-AMADOR, B.; GARCIA-HERNANDEZ, J. L.; TROYO-DIEGUEZ, E. Yield and physiological traits of prickly pear cactus “nopal” (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 70, n. 2, p. 97–107, 2004.

FURTADO, R. N.; MOREIRA FILHO, E. C.; CARNEIRO, M. S. de S.; PEREIRA, E. S.; ROGÉRIO, M. C. P.; PINTO, A. P. *Pilosocereus gounellei* in the water supply for finishing sheep in regions of climatic vulnerability. **Small Ruminant Research**, v. 173, n. February, p. 88–93, 2019.

GAO, H.; YAN, C.; LIU, Q.; LI, Z.; YANG, X.; QI, R. Exploring optimal soil mulching to enhance yield and water use efficiency in maize cropping in China: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 225, n. August, p. 105741, 2019.

GOMES, L. C.; FARIA, R. M.; DE SOUZA, E.; VELOSO, G. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FILHO, E. I. F. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. **Geoderma**, v. 340, n. November 2018, p. 337–350, 2019.

GONG, X.; DANG, K.; LIU, L.; ZHAO, G.; LV, S.; TIAN, L.; JIN, F.; FENG, Y.; ZHAO, Y.; FENG, B. Intercropping combined with nitrogen input promotes proso millet (*Panicum miliaceum* L.) growth and resource use efficiency to increase grain yield on the Loess plateau of China. **Agricultural Water Management**, v. 243, n. May 2020, p. 106434, 2021.

GU, X.; CAI, H.; FANG, H.; CHEN, P.; LI, Y.; LI, Y. Soil hydro-thermal characteristics ,

maize yield and water use efficiency as affected by different biodegradable film mulching patterns in a rain-fed semi-arid area of China. **Agricultural Water Management**, n. February, p. 106560, 2020.

GUIMARÃES, C. V.; DE ASSIS, R. L.; SIMON, G. A.; PIRES, F. R.; FERREIRA, R. L.; DOS SANTOS, D. C. **Desempenho de cultivares e híbridos de milho em solo submetido a compactação 1** **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v17n11/v17n11a09.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2019.

GUSHA, J.; HALIMANI, T. E.; NGONGONI, N. T.; NCUBE, S. Effect of feeding cactus-legume silages on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. **Animal Feed Science and Technology**, v. 206, p. 1–7, 2015.

GUTIÉRREZ, M.; BIAGIONI, R. N.; ALARCÓN-HERRERA, M. T.; RIVAS-LUCERO, B. A. An overview of nitrate sources and operating processes in arid and semiarid aquifer systems. 2017.

HASSAN, S.; INGLESE, P.; GRISTINA, L.; LIGUORI, G.; NOVARA, A.; LOUHAICHI, M.; SORTINO, G. Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. **European Journal of Agronomy**, v. 105, n. April 2018, p. 104–110, 2019.

HASSAN, S.; LIGUORI, G.; INGLESE, P.; LOUHAICHI, M.; SORTINO, G. The effect of soil volume availability on *Opuntia ficus-indica* canopy and root growth. **Agronomy**, v. 10, n. 5, p. 02–17, 2020.

HERRADA, M. R.; LEANDRO, W. M.; FERREIRA, E. P. D. B. Leguminosas isoladas e consorciadas com milho em diferentes sistemas de manejo do solo no feijão orgânico. **Revista Terra Latinoamericana**, v. 35, n. 4, p. 293, 2017.

HOLDEN, S. T. Fertilizer and sustainable intensification in Sub-Saharan Africa. **Global Food Security**, v. 18, p. 20–26, 2018.

HU, F.; GAN, Y.; CHAI, Q.; FENG, F.; ZHAO, C.; YU, A.; MU, Y.; ZHANG, Y. Boosting system productivity through the improved coordination of interspecific competition in maize/pea strip intercropping. **Field Crops Research**, v. 198, p. 50–60, 2016.

IBGE. **Panorama 2018**: características da população e dos domicílios - resultados do universo. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>> Acesso em: 19/04/2019.

IPPC *et al.* **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change ... - Intergovernmental Panel on Climate Change - Google Livros.** [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=nQg3SJtkOGwC&oi=fnd&pg=PR4&dq=Managing+the+Risks+of+Extreme+Events+and+Disasters+to+Advance+Climate+Change+Adaptation&ots=13LhvrjuXQ&sig=LWjzy0Sva3OkqU9bhTRdrCOHwms#v=onepage&q=Managing+the+Risks+of+Extrem>. Acesso em: 5 ago. 2020.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob Caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS, 1996. p. 95-133.

JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Recife, 1973b. 301 p. (DNPEA-DPP. Boletim Técnico, 28. SUDENE-DRN. Série Pedologia, 16).

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTE, A. C.; PESSOA, S. C. P. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado de Alagoas**. Recife, 1975. 532 p. (EMBRAPA-CPP. Boletim Técnico, 35 –SUDENE-DRN. Série Recurso de Solos, 16).

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTE, A. C.; PESSOA, S. C. P. **Levantamento exploratório reconhecimento dos solos do Estado do Piauí**. Rio de Janeiro, 1986. v. 1. (EMBRAPA-SNLCS-SUDENE-DRN. Boletim Técnico, 36).

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTE, A. C.; RIBEIRO, M. R. **Levantamento exploratório reconhecimento da margem esquerda do Rio São Francisco, Estado da Bahia**. Recife, 1976. 404 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 38. SUDENE-DRN. Série Recurso de Solos, 7).

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTE, A. C.; SILVA, F. B. R. **Levantamento exploratório reconhecimento da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia**. Recife, 1977. 404 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 52. SUDENE/DRN. Série Recurso de Solos, 10).

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. da. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Recife: DNPEA: SUDENE-DRN, 1973a. 713 p. (Boletim Técnico, 26).

JARDIM, A. M. da R. F.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; SOUZA, M. de S. 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, 2020.

JIMÉNEZ, M. N.; PINTO, J. R.; RIPOLL, M. A.; SÁNCHEZ-MIRANDA, A.; NAVARRO, F. B. Impact of straw and rock-fragment mulches on soil moisture and early growth of holm oaks in a semiarid area. **Catena**, v. 152, p. 198–206, 2017.

LEDRU, M.-P. *et al.* When archives are missing, deciphering the effects of public policies and climate variability on the Brazilian semi-arid region using sediment core studies. **Science of the Total Environment**, v. 723, n. 1, p. 01–16, 2020.

LIMA, L. R.; DA SILVA, T. G. F.; DA, A. M.; JARDIM, R. F.; DE SOUZA, C. A. A.; DE QUEIROZ, M. G.; TABOSA, J. N. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. n. 2, p. 113–118, 2018 a.

LIMA, L. R.; SILVA, T. G. F. da; PEREIRA, P. C.; MORAIS, J. E. F. de; ASSIS, M. C. S. de. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 191–201, 2018 b.

LIMA, P. V. P. S.; MENDES, C. M.; ROCHA, L. A.; OLIVEIRA, M. R. R. No rastro da vulnerabilidade às secas: uma análise da produção de grãos no semiárido brasileiro. **Revista Eletrônica** 19, v. 19, n. 1, p. 183–196, 2016.

LOBATO, S. M. da S.; SANTOS, L. R. dos; SILVA, B. R. S. da; PANIZ, F. P.; BATISTA, B. L.; DA SILVA LOBATO, A. K. Root-differential modulation enhances nutritional status and leaf anatomy in pigeonpea plants under water deficit. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 262, p. 151519, 2020.

MAKATE, C. Effective scaling of climate smart agriculture innovations in African smallholder agriculture: A review of approaches, policy and institutional strategy needs. **Environmental Science & Policy**, v. 96, n. 1, p. 37–51, 2019.

MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; GIAROLLA, A.; GAROFOLO, L. L.; SIQUEIRA JÚNIOR, J. L.; PAOLICCHI, L. T. I. C.;

PINTO, G. L. N. Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21–30, 2018.

MASVAYA, E. N.; NYAMANGARA, J.; DESCHEEMAER, K.; GILLER, K. E. Is maize-cowpea intercropping a viable option for smallholder farms in the risky environments of semi-arid southern Africa? **Field Crops Research**, v. 209, n. May, p. 73–87, 2017.

MEDEIROS, A. S. de; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. C. dos; GOMES, T. C. de A. Agriculture, Ecosystems and Environment 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. 1, p. 01–09, 2020.

MEMON, S. A.; SHEIKH, I. A.; TALPUR, M. A.; MANGRIO, M. A. Impact of deficit irrigation strategies on winter wheat in semi-arid climate of sindh. **Agricultural Water Management**, v. 243, n. February 2020, p. 106389, 2021.

MILLIKEN, W.; GASSON, P.; PAREYN, F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; LEE, M.; BARACAT, A.; DE LIMA ARAÚJO, E.; CUTLER, D. Impact of management regime and frequency on the survival and productivity of four native tree species used for fuelwood and charcoal in the caatinga of northeast Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 116, n. November 2017, p. 18–25, 2018.

MINHAS, P. S.; RAMOS, T. B.; BEN-GAL, A.; PEREIRA, L. S. Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. **Agricultural Water Management**, v. 227, n. October 2019, p. 105832, 2020.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Nova delimitação do Semiárido Brasileiro. **Brasília**, 2017. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/semi-arido-brasileiro>>.

MORAES, G. S. de O.; GUIM, A.; TABOSA, J. N.; CHAGAS, J. C. C.; ALMEIDA, M. de P.; FERREIRA, M. de A. 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, p. 133–138, 2019.

MOREIRA, E. D. S.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; CRUZ, leandro R. Características agronômicas e produtivas de milho e milheto para silagem adubados com biofertilizante suíno sob irrigação. **B. Industr. Anim**, v. 72, n. 3, p. 185–192, 2015.

- NASCIMENTO, A. .; SCHWARTZ, R. C.; LIMA, F. .; LÓPEZ-MATA, E.; DOMÍNGUEZ, A.; IZQUIEL, A.; TARJUELO, J. .; MARTÍNEZ-ROMERO, A. Effects of irrigation uniformity on yield response and production economics of maize in a semiarid zone. **Agricultural Water Management**, v. 211, p. 178–189, 2019.
- NASCIMENTO, C. E. de S.; TABARELLI, M.; SILVA, C. A. D.; LEAL, I. R.; TAVARES, W. de S.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. The introduced tree *Prosopis juliflora* is a serious threat to native species of the Brazilian Caatinga vegetation. **Science of the Total Environment**, v. 481, n. 1, p. 108–113, 2014.
- NDIRITU, S. W. Beef value chain analysis and climate change adaptation and investment options in the semi-arid lands of northern Kenya. **Journal of Arid Environments**, v. 181, n. May, p. 104216, 2020.
- NEFZAOU, A.; LOUHAICHI, M.; SALEM, H. Ben. Cactus as a Tool to Mitigate Drought and to Combat Desertification. **Journal of Arid Land Studies**, v. 24, n. 1, p. 121–124, 2014.
- NELSON, W. C. D.; HOFFMANN, M. P.; VADEZ, V.; ROETTER, R. P.; WHITBREAD, A. M. Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. **Field Crops Research**, v. 217, n. August 2017, p. 150–166, 2018.
- NUNES, B.; BENNETT, D.; MARQUES, S. Sustainable agricultural production: An investigation in Brazilian semi-arid livestock farms. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 414–425, 2014.
- OLIVEIRA FILHO, A. F.; COELHO BEZERRA, F. T.; PITOMBEIRA, J. B.; DUTRA, A. S.; BARROS, G. L. Agronomic and biological efficiency in the castor bean intercropped with cowpea or maize. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 47, n. 4, p. 729–736, 2016.
- OLIVEIRA, D. P.; SARTOR, L. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; ROMERO, R. E.; ANDRADE, G. R. P.; FERREIRA, T. O. Weathering and clay formation in semi-arid calcareous soils from Northeastern Brazil. **CATENA**, v. 162, p. 325–332, 2018 a.
- OLIVEIRA, F. T. de; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P. da; FILHO, F. C. de A.; JÚNIOR, E. B. P. Palma Forrageira: Adaptação E Importância Para Os Ecossistemas Áridos E Semiáridos. **Revista Verde**, v. 5, n. 4, p. 27–37, 2010.
- OLIVEIRA, J. P. F. de; FERREIRA, M. de A.; ALVES, A. M. S. V.; MELO, A. C. C. de; ANDRADE, I. B. de; URBANO, S. A.; SUASSUNA, J. M. A.; BARROS, L. J. A. de;

MELO, T. T. de B. Carcass characteristics of lambs fed spineless cactus as a replacement for sugarcane. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 31, n. 4, p. 529–536, 2018 b.

PAUL, P. L. C.; BELL, R. W.; BARRETT-LENNARD, E. G.; KABIR, E. Straw mulch and irrigation affect solute potential and sunflower yield in a heavy textured soil in the Ganges Delta. **Agricultural Water Management**, v. 239, n. December 2019, p. 106211, 2020.

PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A. M. de A.; CÉZAR, M. F. Management of the caatinga for the production of goats and sheep. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 14, n. 1, p. 77–90, 2013.

PETERSON, C. A.; EVINER, V. T.; GAUDIN, A. C. M. Ways forward for resilience research in agroecosystems. **Agricultural Systems**, v. 162, n. November 2017, p. 19–27, 2018.

PINHEIRO, E. A. R.; COSTA, C. A. G.; ARAÚJO, J. C. de. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 1–4, 2013.

QIAN, X.; ZANG, H.; XU, H.; HU, Y.; REN, C.; GUO, L.; WANG, C.; ZENG, Z. Relay strip intercropping of oat with maize, sunflower and mung bean in semi-arid regions of Northeast China: Yield advantages and economic benefits. **Field Crops Research**, v. 223, n. April, p. 33–40, 2018.

QUEIROZ, M. G. de; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. e; LIMA, L. R.; ALVES, J. de O. 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.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; JARDIM, A. M. da R. F.; DE SOUZA, C. A. A.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; DE MORAIS, J. E. F.; DE SOUZA, L. S. B. 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. August 2018, p. 104457, 2020.

RESENDE, R. S.; AMORIM, J. R. A.; CRUZ, M. A. S.; MENESES, T. N. Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. suppl, p. 46–52, 2014.

ROBINSON, L. W.; ERICKSEN, P. J.; CHESTERMAN, S.; WORDEN, J. S. Sustainable intensification in drylands: What resilience and vulnerability can tell us. **Agricultural**

**Systems**, v. 135, n. 1, p. 133–140, 2015.

ROWLAND, L. S.; SMITH, H. K.; TAYLOR, G. The potential to improve culinary herb crop quality with deficit irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 242, n. May, p. 44–50, 2018.

ROY, R.; GAIN, A. K.; SAMAT, N.; HURLBERT, M.; TAN, M. L.; CHAN, N. W. Resilience of coastal agricultural systems in Bangladesh: Assessment for agroecosystem stewardship strategies. **Ecological Indicators**, v. 106, n. July 2018, p. 105525, 2019.

SALAH, A. M. A.; PRASSE, R.; MARSCHNER, B. Intercropping with native perennial plants protects soil of arable fields in semi-arid lands. **Journal of Arid Environments**, v. 130, p. 1–13, 2016.

SÁNCHEZ, A. S. *et al.* Alternative biodiesel feedstock systems in the Semi-arid region of Brazil: Implications for ecosystem services. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. 1, p. 2744–2758, 1 jan. 2018.

SANTANA NETO, A.; OLIVEIRA, S.; VALEN, L. Leguminosas adaptadas como alternativa alimentar para ovinos no semiárido – revisão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 14, n. 2, p. 191–200, 2015.

SANTOS, A. F.; PEREZ-MARIN, A. M.; SARMENTO, M. I. A. Produtividade da palma forrageira em aleias com *Gliricídia sepium* sob adubação orgânica em diferentes espaçamentos no Semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, p. 276–281, 2018.

SANTOS, M. V. F. Dos; LIRA, M. D. A.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; GUIM, A.; MELLO, A. C. L. De; CUNHA, M. V. Da. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. SUPPL. 1, p. 204–215, 2010.

SANTOS, R.; NEVES, A. L.; PEREIRA, L. G.; VERNEQUE, R.; COSTA, C. T.; TABOSA, J.; SCHERER, C.; GONÇALVES, L. Divergence in agronomic traits and performance of pearl millet cultivars in Brazilian semiarid region. **Grassland Science**, v. 63, n. 2, p. 118–127, 2017.

SANTOS, T. do N.; DUTRA, E. D.; GOMES DO PRADO, A.; LEITE, F. C. B.; DE SOUZA, R. de F. R.; DOS SANTOS, D. C.; MORAES DE ABREU, C. A.; SIMÕES, D. A.; DE MORAIS, M. A.; MENEZES, R. S. C. Potential for biofuels from the biomass of prickly pear cladodes: Challenges for bioethanol and biogas production in dry areas. **Biomass and**

**Bioenergy**, v. 85, p. 215–222, 2016.

SANTOS, T. E. M. dos; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 670–679, 2011.

SCHERER, L. A.; VERBURG, P. H.; SCHULP, C. J. E. Opportunities for sustainable intensification in European agriculture. **Global Environmental Change**, v. 48, p. 43–55, 2018.

SHAHIN, M. G.; ABDRABOU, R. T.; ABDELMOEMN, W. R.; HAMADA, M. M. Response of growth and forage yield of pearl millet (*Pennisetum galucum*) to nitrogen fertilization rates and cutting height. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 58, n. 2, p. 153–162, 2013.

SILVA, A. H. G. Da *et al.* Milheto em substituição ao milho na dieta de novilhos confinados Millet as a replacement for corn in feedlot steers diets. **Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2077–2094, 2014 a.

SILVA, F. F.; SOUZA, T. E. M. S.; SOUZA, E. R. De; CORREA, M. M.; ROLIM, M. M. Surface sealing and water erosion of soils with mulching in the semi-arid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 277–284, 2019.

SILVA, J. G. M.; SILVA, D. S.; ANDRADE FERREIRA, M.; COSTA LIMA, G. F.; MELO, A. A. S.; NÓBREGA MONTENEGRO DINIZ, M. C. Xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex K. Schum.) Bly. ex Rowl.) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) na alimentação de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 4, p. 1408–1417, 2005.

SILVA, J. R. I.; JARDIM, A. M. da R. F.; SOUZA, E. S. de; BARROS JUNIOR, G.; LEITE, M. L. de M. V.; SOUZA, R.; ANTONINO, A. C. D. Inter-relação de técnica de manejo de água e solo aplicadas a cultura do milheto: uma revisão Interrelationship. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1–27, 2020.

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

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

- SILVA, T. G. F.; ARAÚJO, G. G. L.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B. Agrometeorological research on forage cactus and its advances in Brazil. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 2, n. 1, p. 45–68, 2017.
- SILVA, Y. L.; GAMARRA-ROJAS, G.; FERNANDES, F. É. P.; FARIAS, J. L. de S.; FERNANDES, C. de S. A produção animal na economia da agricultura familiar: estudo de caso no Semiárido brasileiro. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 35, n. 1, p. 53–74, 2018.
- SIMÕES, A. F.; KLIGERMAN, D. C.; ROVERE, E. L. La; MAROUN, M. R.; BARATA, M.; OBERMAIER, M. Enhancing adaptive capacity to climate change: The case of smallholder farmers in the Brazilian semi-arid region. **Environmental Science & Policy**, v. 13, n. 8, p. 801–808, 2010.
- SMITH, A.; SNAPP, S.; CHIKOWO, R.; THORNE, P.; BEKUNDA, M.; GLOVER, J. Measuring sustainable intensification in smallholder agroecosystems: A review. **Global Food Security**, v. 12, p. 127–138, 2017.
- SNYMAN, H. A. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. **Journal of Arid Environments**, v. 65, n. 4, p. 529–542, 2006.
- SOTO-GARCÍA, M.; MARTIN-GORRIZ, B.; GARCÍA-BASTIDA, P. A.; ALCON, F.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V. Energy consumption for crop irrigation in a semiarid climate (south-eastern Spain). **Energy**, v. 55, n. 1, p. 1084–1093, 2013.
- SOUZA FILHO, P. F.; RIBEIRO, V. T.; SANTOS, E. S. dos; MACEDO, G. R. de. Simultaneous saccharification and fermentation of cactus pear biomass-evaluation of using different pretreatments. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 425–433, 2016.
- SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 715–721, 2011.
- SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. **Pesq. agropec. bras**, v. 50, n. 8, p. 627–636, 2015.
- SOUZA, R.; HARTZELL, S.; FENG, X.; DANTAS ANTONINO, A. C.; DE SOUZA, E. S.; CEZAR MENEZES, R. S.; PORPORATO, A. Optimal management of cattle grazing in a

seasonally dry tropical forest ecosystem under rainfall fluctuations. **Journal of Hydrology**, v. 588, p. 125102, 2020.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE, 2017. Disponível em: <http://sudene.gov.br>. Acessado em 03 de Janeiro de 2020.

THOMSON, A. M.; ELLIS, E. C.; GRAU, Hé. R.; KUEMMERLE, T.; MEYFROIDT, P.; RAMANKUTTY, N.; ZELEKE, G. Sustainable intensification in land systems: trade-offs, scales, and contexts. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 38, p. 37–43, 2019.

TINSLEY, T. L.; CHUMBLEY, S.; MATHIS, C.; MACHEN, R.; TURNER, B. L. Managing cow herd dynamics in environments of limited forage productivity and livestock marketing channels: An application to semi-arid Pacific island beef production using system dynamics. **Agricultural Systems**, v. 173, p. 78–93, 2019.

TRINH, T. Q.; RAÑOLA, R. F.; CAMACHO, L. D.; SIMELTON, E. Determinants of farmers' adaptation to climate change in agricultural production in the central region of Vietnam. **Land Use Policy**, v. 70, p. 224–231, 2018.

ULLAH, A.; AHMAD, A.; KHALIQ, T.; AKHTAR, J. Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 4, p. 762–773, 2017.

VANLAUWE, B.; COYNE, D.; GOCKOWSKI, J.; HAUSER, S.; HUISING, J.; MASSO, C.; NZIGUHEBA, G.; SCHUT, M.; VAN ASTEN, P. Sustainable intensification and the African smallholder farmer. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 8, p. 15–22, 2014.

VIEIRA, R. M. S. P. *et al.* Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, v. 6, p. 347–360, 2015.

WANG, D.; FENG, H.; LIU, X.; LI, Y.; ZHOU, L.; ZHANG, A.; DYCK, M. Effects of gravel mulching on yield and multilevel water use efficiency of wheat-maize cropping system in semi-arid region of Northwest China. **Field Crops Research**, v. 218, p. 201–212, 2018.

YADAV, M.; RENGASAMY, R. S.; GUPTA, D. Characterization of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) waste. **Carbohydrate Polymers**, v. 212, p. 160–168, 2019.

YANG, G.; LI, F.; TIAN, L.; HE, X.; GAO, Y.; WANG, Z. Soil & Tillage Research Soil

physicochemical properties and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield under brackish water mulched drip irrigation. **Soil & Tillage Research**, v. 199, n. February, p. 104592, 2020.

YAVUZ, D.; YAVUZ, N.; SEYMEN, M.; TÜRKMEN, Ö. Evapotranspiration, crop coefficient and seed yield of drip irrigated pumpkin under semi-arid conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 197, n. 1, p. 33–40, 2015.

YIN, W.; CHAI, Q.; ZHAO, C.; YU, A.; FAN, Z.; HU, F.; FAN, H.; GUO, Y.; COULTER, J. A. Water utilization in intercropping: A review. **Agricultural Water Management**, v. 241, n. June, p. 1–13, 2020.

YUFENG, Z.; SADDIQUE, Q.; ALI, A.; XU, J.; KHAN, M. I.; QING, M.; AZMAT, M.; CAI, H.; SIDDIQUE, K. H. M. Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. **Agricultural Water Management**, v. 243, n. August 2020, p. 106483, 2021.

ZEGBE, J. A.; SERNA-PÉREZ, A.; MENA-COVARRUBIAS, J. Mineral nutrition enhances yield and affects fruit quality of ‘Cristalina’ cactus pear. **Scientia Horticulturae**, v. 167, n. 1, p. 63–70, 2014.

ZHANG, P.; WEI, T.; HAN, Q.; REN, X.; JIA, Z. Effects of different film mulching methods on soil water productivity and maize yield in a semiarid area of China. **Agricultural Water Management**, v. 241, n. July 2019, p. 106382, 2020.

ZHANG, Y.; DUAN, Y.; NIE, J.; YANG, J.; REN, J.; VAN DER WERF, W.; EVERS, J. B.; ZHANG, J.; SU, Z.; ZHANG, L. A lack of complementarity for water acquisition limits yield advantage of oats/vetch intercropping in a semi-arid condition. **Agricultural Water Management**, v. 225, n. April, p. 105778, 2019 a.

ZHANG, Y.; DUAN, Y.; NIE, J.; YANG, J.; REN, J.; WERF, W. Van Der. A lack of complementarity for water acquisition limits yield advantage of oats / vetch intercropping in a semi-arid condition. **Agricultural Water Management**, v. 225, n. April, p. 105778, 2019 b.

ZHANG, Z.; YU, K.; SIDDIQUE, K. H. M.; NAN, Z. Phenology and sowing time affect water use in four warm-season annual grasses under a semi-arid environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 269–270, p. 257–269, 2019 c.

## **CAPÍTULO II**

---

### **MULTISISTEMAS DE PRODUÇÃO E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO**

## Resumo

Objetivou-se avaliar o efeito de distintos sistemas de cultivo: a) cobertura-irrigação-clones; b) lâminas de irrigação; c) consórcio-cobertura e; d) níveis de cobertura morta no crescimento e desenvolvimento de clones de palma forrageira, por meio da fenologia, momento de colheita ideal e indicadores morfofisiológicos. O experimento foi conduzido em campo na Universidade Federal Rural de Pernambuco, no município de Serra Talhada-PE, Brasil. O trabalho foi dividido em quatro áreas experimentais sob diferentes sistemas de cultivo, todas em delineamento em blocos casualizados. Medidas de variáveis biométricas e de biomassa foram realizadas ao longo do tempo, afim de estabelecer o cálculo da fenologia e momento de colheita e quantificar os indicadores morfofisiológicos. O clone Miúda (MIU) apresentou maior taxa de emissão de cladódios para os sistemas sequeiro com cobertura e sem cobertura (SCC e SSC) com média de  $0,00295 \text{ unid. } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ . O clone IPA-Sertânia (IPA) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM) apresentaram maior duração do estágio fenológico dois para os diferentes sistemas de cultivo. O estágio fenológico mais avançado foi observado no sistema MIU irrigado com cobertura morta (ICC). O clone MIU apresentou o menor tempo de colheita ideal para os sistemas em sequeiro (média,  $1392 \text{ } ^\circ\text{Cdia}$ ). O sistema OEM-ICC apresentou redução de  $982 \text{ } ^\circ\text{Cdia}$  no momento ideal de colheita. A TCA máxima foi observada para o sistema OEM-SCC ( $0,0113 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ). O maior valor para a MIU foi quantificado no sistema ICC. A taxa de crescimento relativo (TCR) foi mais elevada para as plantas de *Nopalea*. Para o sistema de lâminas de irrigação o clone IPA reduziu o tempo da taxa de emissão de cladódios de segunda ordem nas lâminas de 80 e 120% da evapotranspiração da cultura (ETc). Apenas o clone MIU apresentou emissão de cladódios de terceira ordem. O clone OEM teve maiores taxas nos sistemas em sequeiro e 40% da ETc. O acúmulo de matéria seca aumentou para o clone IPA até a lâmina de 80% da ETc. O menor acúmulo de matéria seca foi presenciado pelo sistema MIU-Sequeiro ( $0,0016 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ). As maiores taxas no acúmulo de matéria seca foram encontradas no clone OEM. A lâmina de 120% da ETc proporcionou a maior antecipação no sistema IPA e OEM 120% da ETc. As TCA, TCR e TAL mostraram-se semelhantes para os diferentes clones. As plantas de *Nopalea* apresentaram maiores taxas na lâmina de 80% da ETc. As menores taxas foram observadas para a lâmina de 120%. Para o sistema consórcio-cobertura o maior valor da taxa de emissão de cladódios foi para o sistema palma com cobertura morta (P-CC,  $0,0583 \text{ unid. } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ). O sistema P-CC apresentou a menor soma térmica acumulada para o momento de colheita ideal. Os sistemas com cobertura morta apresentaram pico da TCA

próximo aos 400 °Cdia. O cultivo de palma consorciada com milho mostrou os menores valores de TCR. O sistema com diferentes níveis de cobertura acarretou em maiores valores de taxa de emissão de cládios na quantidade de 15 Mg ha<sup>-1</sup>. Os menores valores no acúmulo de matéria seca foram observados para o sistema sem cobertura morta. O momento de corte para todos os sistemas ocorreu em média aos 1225 °Cdia. O tratamento controle, sem cobertura morta apresentou os menores valores de TCA. Os maiores valores de TAL foram obtidos pelo sistema 15 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada com média de 0,0373 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>. O uso de cobertura morta propiciou maiores incrementos nas taxas de crescimento e desenvolvimento da cultura. As plantas de *Nopalea*, apresentaram fragilidade ao excesso de água no sistema.

Palavras-chave: *Opuntia*; *Nopalea*; Índices morfofisiológicos; Momento de colheita

## PRODUCTION MULTISYSTEMS AND THEIR EFFECTS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE FORAGE CACTUS IN A SEMI-ARID ENVIRONMENT

### Abstract

The objective was to evaluate the effect of different cultivation systems: a) mulch-irrigation-clones; b) irrigation depths; c) intercropping-mulching and; d) levels of mulch in the growth and development of forage cactus clones, through phenology, ideal harvest time, and morphophysiological indicators. The experiment was conducted in the field at the Federal Rural University of Pernambuco, in the municipality of Serra Talhada-PE, Brazil. The work was divided into four experimental areas under different cultivation systems, all in a randomized block design. Measures of biometric and biomass variables were made over time, in order to establish the calculation of phenology and harvest time and quantify the morphophysiological indicators. The Miúda clone (MIU) presented a higher emission rate of cladodes for mulched and non-mulched rainfed systems (SCC and SSC) with an average of  $0.00295 \text{ units } ^\circ\text{Cday}^{-1}$ . The clone IPA-Sertânia (IPA) and Orelha de Elefante Mexicana (OEM) had a longer duration of phenological stage two for different cultivation systems. The most advanced phenological stage was observed in the MIU system irrigated with mulch (ICC). The MIU clone had the shortest harvest time ideal for rainfed systems (average,  $1392 \text{ } ^\circ\text{Cday}$ ). The OEM-ICC system presents a reduction of  $982 \text{ } ^\circ\text{Cday}$  at the ideal time of harvest. The maximum AGR was observed for the OEM-SCC system ( $0.0113 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ } ^\circ\text{Cday}^{-1}$ ). The highest value for the MIU was quantified in the ICC system. The relative growth rate (RGR) was higher for *Nopalea* plants. For the irrigation depth system, the IPA clone reduced the time for the emission rate of second-order cladodes in the depths by 80 and 120% of the crop evapotranspiration (ETc). Only the MIU clone presented third-order cladodes. The OEM clone had higher rates in rainfed systems and 40% ETc. The accumulation of dry matter increased for the IPA clone up to the 80% depth of ETc. The lowest accumulation of dry matter was observed by the MIU-rainfed system ( $0.0016 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ } ^\circ\text{Cday}^{-1}$ ). The highest rates of dry matter accumulation were found in the OEM clone. The 120% ETc depth provided the greatest anticipation in the IPA and OEM system 120% of ETc. The AGR, RGR, and NAR were similar for the different clones. *Nopalea* plants showed higher rates in the depth of 80% of ETc. The lowest rates were observed for the 120% depth. For the intercropping-mulch system, the highest value of the emission rate of cladodes was for the cactus system with mulch (P-CC,  $0.0583 \text{ units } ^\circ\text{Cday}^{-1}$ ). The P-CC system presented

the lowest accumulated thermal sum for the ideal harvest moment. The systems with mulch showed a peak in AGR close to 400 °Cday. The cultivation of cactus intercropping with millet showed the lowest RGR values. The system with different levels of mulched resulted in a higher emission rate of cladodes in the amount of 15 Mg ha<sup>-1</sup>. The lowest values in dry matter accumulation were observed for the system without mulch. The cut-off time for all systems occurred on average at 1225 °Cday. The control treatment, without mulch, presented the lowest AGR values. The highest NAR values were obtained by the 15 Mg ha<sup>-1</sup> straw system with an average of 0.0373 Mg ha<sup>-1</sup> °Cday<sup>-1</sup>. The use of mulch provided greater increases in the growth and development rates of the crop. *Nopalea* plants showed fragility to excess water in the system.

Keywords: *Opuntia*; *Nopalea*; Morphophysiological indices; Harvest time

## 1. Introdução

A busca por minimização dos impactos das mudanças climáticas nos sistemas de produção, bem como, o gerenciamento sustentável dos recursos disponíveis, tem recebido grande atenção pela comunidade científica, em especial, sobre um cenário de ascensão consumista, tanto por mudanças no hábito de consumo, quanto pelo aumento populacional, inferindo em demanda exacerbada no setor agropecuário (BALAINE et al., 2020), principalmente no consumo de proteína animal, resultando em maior busca por forragem (HUANG et al., 2020). A produção pecuária de ruminantes é o setor dominante no que concerne ao uso da terra em todo o planeta, exercendo função crítica na segurança alimentar. Em regiões áridas e semiáridas esse seguimento tem se mostrado como a principal ocupação de uso do solo, com maior contribuição para seguridade socioeconômica das comunidades rurais (FERNER et al., 2018).

Devido as condições edafoclimáticas e qualidade das pastagens nas regiões áridas e semiáridas, a produção de gado é desafiadora. Esses fatores aliados as ações antropogênicas (i.e., uso indevido da terra) podem acarretar em grandes perdas socioambientais (FERNER et al., 2018). No entanto, as propriedades inseridas nessas zonas apresentam grande potencial para alavancar a oferta de alimento (e.g., agropecuário) e minimizar os riscos inerentes ao setor, sendo assim, as culturas forrageiras nessas regiões apresentam uma função considerável na produção global de forragem, isso, se bem manejadas (HUANG et al., 2020; TOOROP et al., 2020).

A pesquisa por sistemas de manejo que proporcionem os melhores desempenhos das plantas é uma base para sua inclusão nas propriedades, afim de impulsionar o setor, e também para conservação ambiental, reduzindo os impactos sofrido pelas culturas (BOLZAN et al., 2020). Nesse sentido, a utilização de plantas adaptadas ao clima sazonal, culturas intercaladas e práticas conservacionistas apresentam grande relevância na aprimoração do ambiente de cultivo, melhorando a eficiência do uso dos fatores biofísicos e.g., água, radiação, nutrientes, mão de obra (LIMA et al., 2018). A escolha da espécie forrageira é um seguimento bastante delicado do sistema, uma vez que, essas apresentam comportamentos distintos aos diferentes ambientes impostos, induzindo alterações no crescimento e desenvolvimento das plantas (BREWER; GAUDIN, 2020).

Diante dos fatos, se torna fundamental o estudo dos efeitos do manejo integrado de práticas agrônômicas no crescimento e desenvolvimento de plantas forrageiras (LIU et al.,

2017). O estudo do crescimento de plantas é suficientemente aceito para descrever os comportamentos morfológicos e fisiológicos às imposições do ambiente de cultivo, sendo bastante eficiente para o reconhecimento de materiais mais produtivos e sistemas prósperos (POMMERENING; MUSZTA, 2016). Essa análise é bastante simplória, realizada sem a necessidade de equipamentos especializados, carecendo apenas de avaliações periódicas de biomassa e morfometria (e.g., área foliar, número de folhas), e as respostas encontradas podem ser aplicadas para avaliar a adaptação das plantas ao ambiente, interações interespecíficas e consequências do sistema de manejo (ALVAREZ; CRUSCIOL; NASCENTE, 2012). Usualmente na literatura esses índices reportados são: taxa de crescimento absoluto e relativo; taxa de assimilação líquida e área foliar específica (TAULYA et al., 2014).

A palma (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) é amplamente usada em sistemas de produção agropecuários em regiões secas por todo o mundo, devido ao seu metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), conferindo maior eficiência no uso da água, e proporcionando rendimentos satisfatórios nesses locais. No Brasil essa cultura é bastante usada na alimentação do gado, afim de equilibrar o déficit de forragem no período de entressafra das pastagens nativas na região semiárida, assegurando a produção de proteína animal (JARDIM et al., 2020). Apesar da grande participação da cultura nas propriedades rurais do semiárido, introdutórias são as pesquisas que estudam essa cultura em sistemas de manejo integrado de práticas agrônômicas. Levantando a hipótese que mesmo sob diferentes manejos de práticas agrônômicas a palma atingirá desempenho aceitável.

Desse modo, objetivou-se avaliar o efeito de distintos sistemas de cultivo no crescimento e desenvolvimento de clones de palma forrageira, por meio da fenologia, momento ideal de colheita e indicadores morfofisiológicos.

## **2. Material e métodos**

### **2.1. Área de estudo**

Os estudos foram realizados em campo, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, PE (latitude 7°59' Sul; longitude 38°15' Oeste e altitude 431 m) no “*Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras*”, no Sertão Semiárido brasileiro, entre os anos de 2017 e 2020.

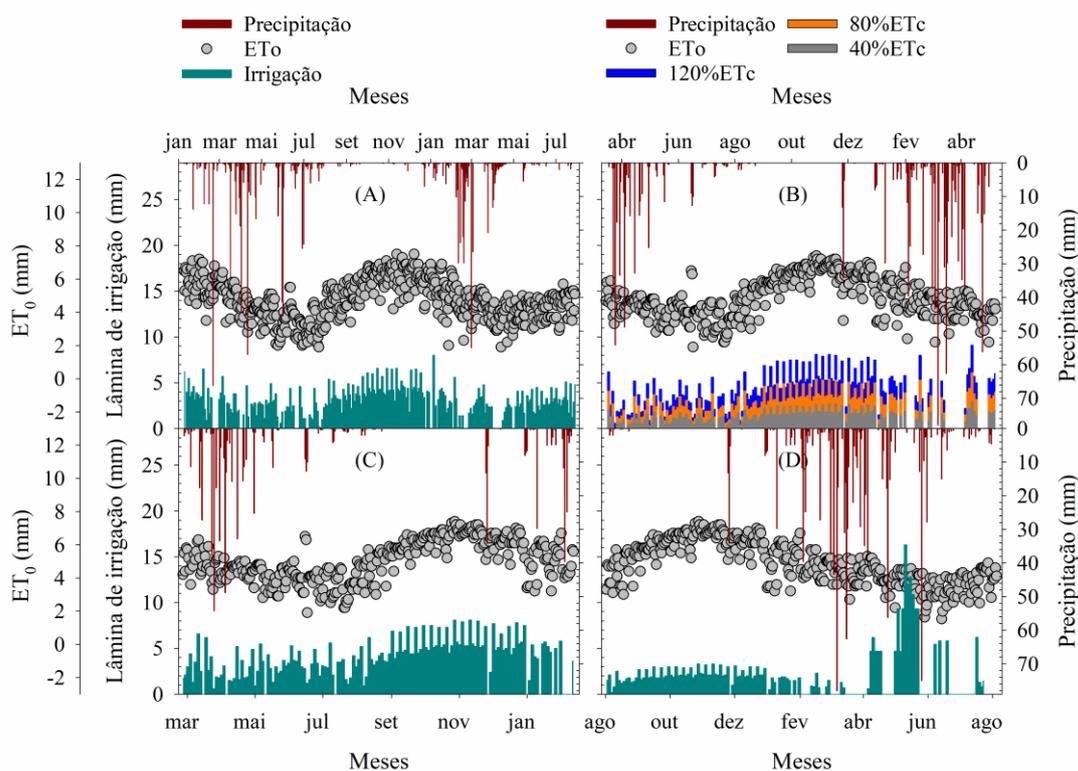
O clima da região de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BShw', com longa estação seca entre os meses de maio a dezembro e chuvas no verão (ALVARES et al., 2013),

com precipitação pluvial média anual de 642,1 mm, umidade relativa do ar próximo de 62% e temperatura média do ar variando de 20,1 a 32,9 °C, resultando em um balanço hídrico negativo para a maior parte dos meses do ano (PEREIRA et al., 2015; SILVA et al., 2015b).

O solo da área em estudo foi classificado como Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico (JARDIM et al., 2020), de textura areia franca, bem drenado e não pedregoso, com densidade média do solo, capacidade de campo e ponto de murcha permanente de 1,38 g cm<sup>-3</sup>, 0,11 e 0,05 kg kg<sup>-1</sup> respectivamente, para profundidade de 0,80 m. As propriedades químicas da camada arável (0,0 - 0,20 m) são as seguintes: pH = 5,95; condutividade elétrica do extrato de saturação de 0,33 dS m<sup>-1</sup>; matéria orgânica de 9,15 g kg<sup>-1</sup>; carbono orgânico 5,3 g kg; fósforo (P) de 72,31 mg dm<sup>-3</sup>; potássio (K) com 1,01 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; sódio (Na) de 0,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; cálcio (Ca) de 4,25 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e magnésio (Mg) de 1,90 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

## 2.2. Design experimental e manejo das culturas

O campo experimental foi dividido em quatro experimentos distintos, com diferentes sistemas de cultivo, todos em blocos casualizados, com quatro repetições (i.e., Experimentos 1, 2, 3 e 4) e quatro fileiras de cultivo, com uma distância média de 20,0 m entre as áreas experimentais. Para todas as áreas experimentais houve preparo do solo com aração, gradagem e sulcagem. Os dados de natureza meteorológica para os diferentes períodos experimentais são apresentados na Fig. 1.



**Figura 1.** Disponibilidade hídrica e evapotranspiração de referência diária no período de: (A) — 01 de janeiro de 2017 a 07 de julho de 2018; (B) — 15 de março de 2019 a 15 de maio de 2020; (C) — 25 de fevereiro de 2019 a 11 de fevereiro de 2020; (D) — 02 de agosto de 2019 a 15 de maio de 2020.

### 2.2.1. Experimento 1: irrigação-cobertura-clones

O experimento em fatorial 2x2x3, consistiu em duas combinações de tratamentos e três clones de palma forrageira, ou seja, dois níveis de disponibilidade hídrica e dois níveis de mulch. A disponibilidade hídrica foi sequeiro e irrigado com 100% da ETc, com Kc - 0,52 sugerido por Queiroz et al. (2015), já os níveis de resíduos foram sem cobertura morta (no-mulch, NM) e com cobertura morta (with mulch, WM), sendo a palhada advinda de *Urochloa mosambicensis*, utilizando-se 18,0 Mg ha<sup>-1</sup> de peso seco, sem reposição durante o ciclo experimental. Os clones cultivados foram: Orelha de Elefante mexicano - OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.); IPA Sertânia - IPA; e Miúda - MIU (ambas da espécie *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck).

Cada parcela dispusera de 20 m<sup>2</sup>, com quatro linhas de cultivo espaçadas em um metro e distanciamento entre plantas de 0,20 m, totalizando um estande de 50,0 mil plantas por

hectare. O plantio da palma foi realizado em janeiro de 2016, no qual foi conduzido em sequeiro até janeiro de 2017, onde iniciou-se os tratamentos, estendendo-se até julho de 2018 (i.e., momento da colheita). A natureza meteorológica do período experimental está apresentada na Fig. 1A. Ao final do período avaliado os seguintes valores foram reunidos:  $ET_0$  - 2674,38 mm (média, 4,72 mm dia<sup>-1</sup>); Precipitação pluvial (P) - 1000,8 mm (ano 2017 - 628,4, e ano 2018 - 372,4 mm); e Lâmina de irrigação (I) - 684,82 mm.

### 2.2.2. Experimento 2: lâminas de irrigação

O ensaio foi conduzido em um fatorial 4 x 3, com parcelas subdivididas, sendo as parcelas representadas por três lâminas de irrigação, fundamentado na evapotranspiração da cultura,  $ET_c$  (40%, 80% e 120% da  $ET_c$ ) mais a condição de sequeiro (0% da  $ET_c$ ), visando observar o comportamento da cultura sob irrigação deficitária. Ao passo que as subparcelas foram constituídas por três clones de palma (OEM, MIU e IPA). Cada parcela apresentou área de 60,0 m<sup>2</sup> (20 m<sup>2</sup> por subparcelas), o espaçamento de 1,0 x 0,2 m entre linhas e plantas. A área foi implantada em janeiro de 2016, e foi conduzida no seu segundo ciclo produtivo, com início dos tratamentos em 15 de março de 2019 e colheita em 11 de maio de 2020. Os dados meteorológicos do ensaio estão dispostos na Fig. 1B. Ao final da época avaliada os seguintes valores foram observados:  $ET_0$  - 2051,87 mm (média, 4,84 mm dia<sup>-1</sup>); P - 1342,2 mm (ano 2019 - 503,4 e ano 2020 - 838,8 mm); e I - 212,47 mm (40% $ET_c$ ), 433,23 mm (80% $ET_c$ ), 658,82 mm (120% $ET_c$ ).

### 2.2.3. Experimento 3: consócio-cobertura morta

A área experimental foi disposta em fatorial 2 x 3, composto por dois níveis de resíduos NM e WM (utilizando-se 18 Mg ha<sup>-1</sup>) e três sistemas de plantio: palma forrageira exclusiva, clone OEM; milho exclusivo, cultivar IPA Bulk-1-BF (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.); e a consorciação de ambas as culturas. Todas as parcelas receberam irrigação, com 120% da evapotranspiração da cultura da palma -  $ET_c$  (i.e., devido ser a cultura principal do sistema), a lâmina superior a necessidade hídrica da cultura principal visou prover minimamente as necessidades da cultura secundária (milho). As parcelas experimentais possuíam área de 25,60 m<sup>2</sup>. A palma foi determinada como cultivo principal, com espaçamento de 1,60 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, com estande de 31,25 mil plantas por hectare. O milho foi

implantado a 0,20 m de distância da palma forrageira, com espaçamento de 20 plantas por metro linear, estabelecendo um estande de 250,0 mil plantas por hectare para a primeira semeadura (plantio em fileiras duplas), já para a segunda semeadura o estande foi de 125,0 mil plantas por hectare (plantio em fileiras simples).

A área foi implantada em junho de 2016 e foi conduzida no seu segundo ciclo produtivo, com corte de uniformização em 25 de fevereiro de 2019 (mantendo-se os cladódios de primeira ordem da cactácea) e implantação dos tratamentos em 27 de fevereiro de 2019, com colheita em 12 de fevereiro de 2020. O semeio do milho ocorreu em 27 de fevereiro de 2019 (ciclo planta; com idade de 90 dias) e em 10 de outubro de 2019 (ciclo planta; com idade de 126 dias), totalizando dois ciclos produtivos. Entre a colheita do primeiro ciclo do milho e a semeadura do segundo ciclo foram efetuadas novas semeaduras, as quais não apresentaram êxito na emergência das plântulas. Tal fato pode estar associado ao déficit hídrico do período avaliado, uma vez que os eventos de irrigação eram baseados na exigência hídrica da palma. Os dados meteorológicos do experimento estão dispostos na Fig. 1C. Ao final da época avaliada os seguintes valores foram constatados:  $ET_0$  - 1755,08 mm (média, 5,00 mm dia<sup>-1</sup>); P - 711,8 mm (ano 2019 - 568,0 e ano 2020 - 143,8 mm); e I - 585,45 mm.

#### 2.2.4. Experimento 4: níveis de cobertura morta

O teste foi baseado no cultivo da palma, clone OEM. As parcelas foram compostas por quatro níveis de cobertura do solo (5,0; 10,0 e 15 Mg ha<sup>-1</sup>, WM), mais a condição de solo exposto (0,0 Mg ha<sup>-1</sup>, NM). Foram aplicadas lâminas de irrigação na ordem de 80% da evapotranspiração da cultura -  $ET_c$ . As parcelas experimentais possuíam área de 16,0 m<sup>2</sup>. A área foi implantada em julho de 2018, com início dos tratamentos em 08 de agosto de 2019 e colheita em 05 de agosto de 2020. A palhada foi composta basicamente de *Urochloa mosambicensis*, sem reposição durante o período de avaliação. Os dados meteorológicos referentes ao experimento estão apresentados na Fig. 1D. Ao final da época avaliada os seguintes valores foram vistos:  $ET_0$  - 1759,73 mm (média, 4,85 mm dia<sup>-1</sup>); P - 1110,2 mm (ano 2019 - 69,6 mm, e ano 2020 - 1040,6 mm); e I - 305,35 mm.

### 2.3. Irrigação

O manejo da irrigação foi praticado por meio de um sistema de gotejamento, com eventos intercalados, sucedendo-se três momentos por semana, às segundas, quartas e sextas feiras. O mesmo operava a uma pressão de 101,3 kPa, com vazão média de 1,60 L h<sup>-1</sup> e uniformidade da aplicação de 93%. As fitas gotejadoras foram dispostas próximo as linhas de cultivo e possuíam emissores espaçados em 0,20 m entre si. A irrigação foi realizada com base na evapotranspiração de referência - ET<sub>0</sub> pelo método de Penman-Monteith parametrizado no boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998) e na evapotranspiração da cultura da palma - ET<sub>c</sub> (K<sub>c</sub> - 0,52, padronizado durante todo o ciclo) (QUEIROZ et al., 2015). Os dados de natureza meteorológicos (Fig. 1) foram coletados através de uma estação automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia, localizada a 20 m das áreas experimentais.

#### 2.4. Mensuração de dados

As coletas de dados foram efetuadas em intervalos de 30 e 90 dias, para características biométricas e de biomassa, respectivamente. Os objetivos das análises eram, apropriar-se de conhecimento para a obtenção de respostas de crescimento, delimitação dos estádios de desenvolvimento, índices morfofisiológicos e o momento de colheita ideal.

##### 2.4.1. Análise de crescimento e rendimento

Para o experimento 1, foram avaliadas duas plantas por parcela para cada clone estudado, já para as demais áreas experimentais foram utilizadas apenas uma planta por parcela por clone (ou por subparcela, para os que assim a fizeram). Foram obtidos os seguintes dados biométricos para cada planta: altura da planta (cm), sendo contabilizada da superfície do solo até o limite superior da planta; largura da planta (cm), maior distanciamento horizontal entre as extremidades; número total de cladódios (unidades) e por ordem de surgimento. Foi selecionada uma ramificação representativa da planta a fim de serem feitas avaliações de altura, largura, perímetro e espessura (mm) de todos os cladódios. Segundo metodologia sugerida por Silva et al. (2014) foram determinadas as áreas dos cladódios (m<sup>2</sup>) para cada clone de palma. Subsequentemente, determinou-se o índice de área do cladódio (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>), por meio da razão entre área do cladódio e o espaçamento de cultivo (PINHEIRO et al., 2014).

Para determinação da biomassa (matéria fresca e seca), foram selecionadas uma planta representativa por parcela para cada tratamento (ou subparcela, para os experimentos que assim

o fizeram), em seguida foram cortadas e pesadas em balança eletrônica para obtenção do peso fresco (matéria fresca), logo após foram escolhidos dois cladódios do terço médio da planta e pesados novamente, posteriormente fracionados, acondicionados em sacos de papel identificados e levados à estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 65 °C até obtenção da massa constante (matéria seca). Na colheita, a produtividade ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) foi determinada por meio da densidade final de plantas, matéria fresca da área útil (parcela ou subparcela, a depender do experimento) e o teor de matéria seca.

#### 2.4.2. Estádios fenológicos e momento de colheita ideal da palma forrageira

A cultura da palma forrageira foi avaliada apenas dentro de sua fase vegetativa, obtendo-se assim os estádios de desenvolvimento dentro dessa fase. Para a modelagem do número de cladódios emitidos por ordem (1ª, 2ª, 3ª ordem) os dados foram submetidos a análise de regressão não-linear. Entretanto, os modelos tiveram como variável independente o tempo térmico, que é calculado em função dos graus dias acumulados (GDA) a partir do início dos tratamentos até o momento da colheita, assumindo-se a temperatura base de 22 °C. As regressões foram ajustadas com modelos sigmoidais de três parâmetros, apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,85, com equações e parâmetros significativos ( $p < 0,05$ ).

Para determinação das taxas de emissões de cladódios, os modelos foram derivados. As mudanças de estádios fenológicos foram observadas quando a taxa de emissão de cladódios era superada pela taxa de emissão de cladódios ulterior (AMORIM et al., 2017). Para o momento de corte da cultura, análise similar foi realizada utilizando-se os valores de matéria seca, e assim, obtendo a taxa de acúmulo de matéria seca ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ). Conforme os autores supracitados, o momento de corte foi determinado quando a taxa decresce à 25% do pico de máximo acúmulo da matéria seca.

#### 2.4.3. Índices morfofisiológicos da palma forrageira

Os índices morfofisiológicos foram calculados a partir das análises de regressão entre os valores de matéria seca e o índice de área do cladódio, ambos associados a variável independente, i.e., GDA, ajustando-se a modelo matemático sigmoide de três parâmetros. Posteriormente os modelos foram derivados para obtenção dos seguintes índices: taxa de

crescimento absoluto (TCA,  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ), representando a variação de matéria seca acumulada pela planta e; taxa de índice de área do cladódio (TIAC,  $\text{ha ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ). Em seguida, foram usados para calcular a taxa de crescimento relativo (TCR,  $\text{Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ), identificando o acúmulo de biomassa seca a contar de biomassa pré-existente; taxa de assimilação líquida (TAL,  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ), mostrando a eficiência do sistema assimilador de  $\text{CO}_2$  em produzir matéria seca; área do cladódio específico (ACE,  $\text{ha Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ), refletindo a área de cladódios da planta com base no peso seco (AMARO et al., 2004; SILVA et al., 2009; POMMERENING; MUSZTA, 2016).

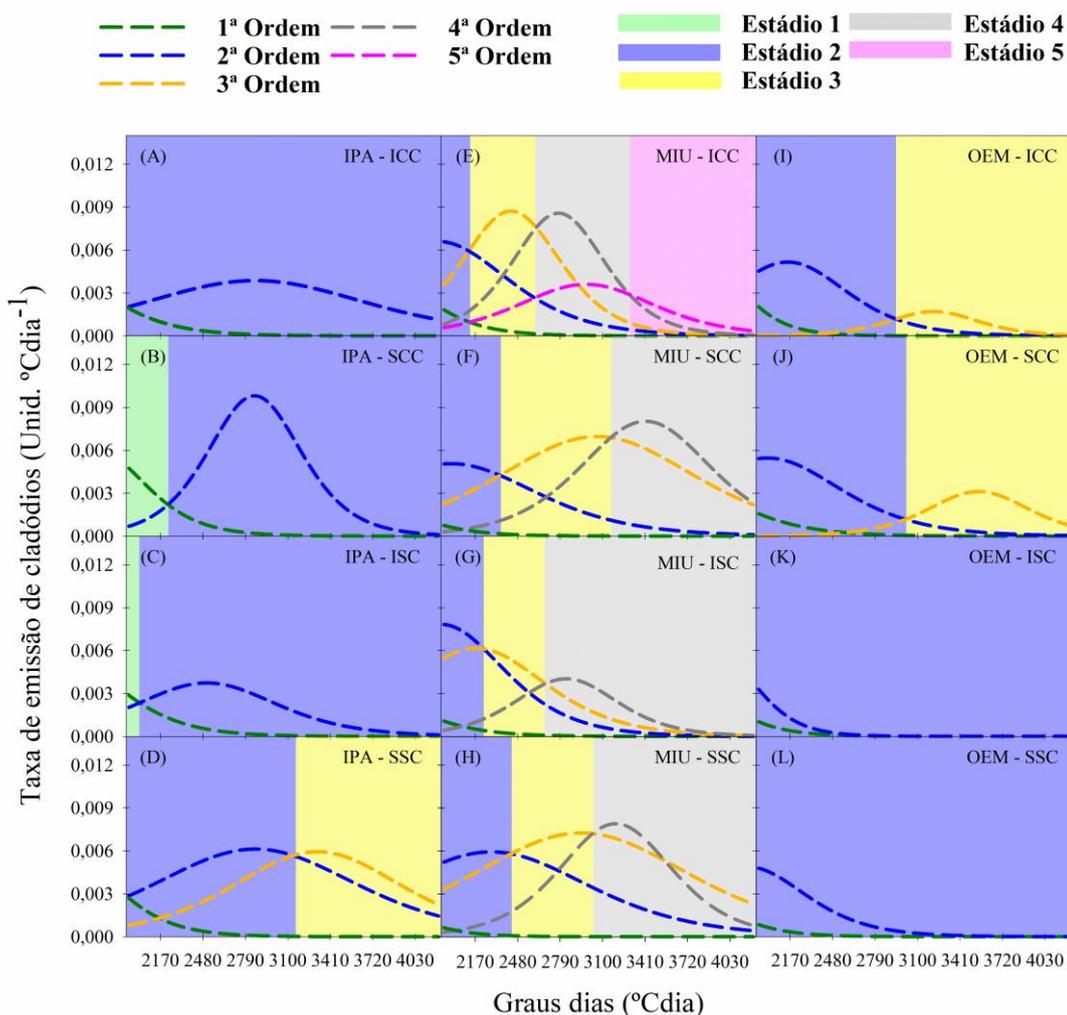
## 2.5. Análise estatística

Para as taxas relacionadas aos estádios fenológicos, acúmulo de matéria seca e indicadores morfofisiológicos, foram feitos ajustes de curvas de regressão de modelo sigmoidal, aplicando como critério a significância do modelo ( $p < 0,05$ ) e coeficiente de determinação transcendente a 0,85. Todos os modelos e análises estatísticas foram elaborados pelo SigmaPlot da Systat Software, San Jose, CA.

## 3. Resultados

### 3.1. Estádios fenológicos da palma forrageira

Pode-se observar o comportamento das taxas de emissão de cladódios (Fig. 2) da palma forrageira em sistema de cultivo cobertura-irrigação-clones. O clone de palma forrageira MIU de maneira geral, apresentou maior emissão de cladódios, podendo encontrar até quinta ordem quando comparadas aos clones IPA e OEM, que atingiram o máximo de três ordens de inserção na planta.



**Figura 2.** Estádios fenológicos na fase vegetativa de distintos clones de palma forrageira (IPA - IPA Sertânia; MIU - Miúda e; OEM - Orelha de Elefante Mexicana) submetidos a diferentes sistemas de produção (ICC - irrigado com cobertura; SCC - sequeiro com cobertura; ISC - irrigado sem cobertura e; SSC - sequeiro sem cobertura), no Semiárido brasileiro.

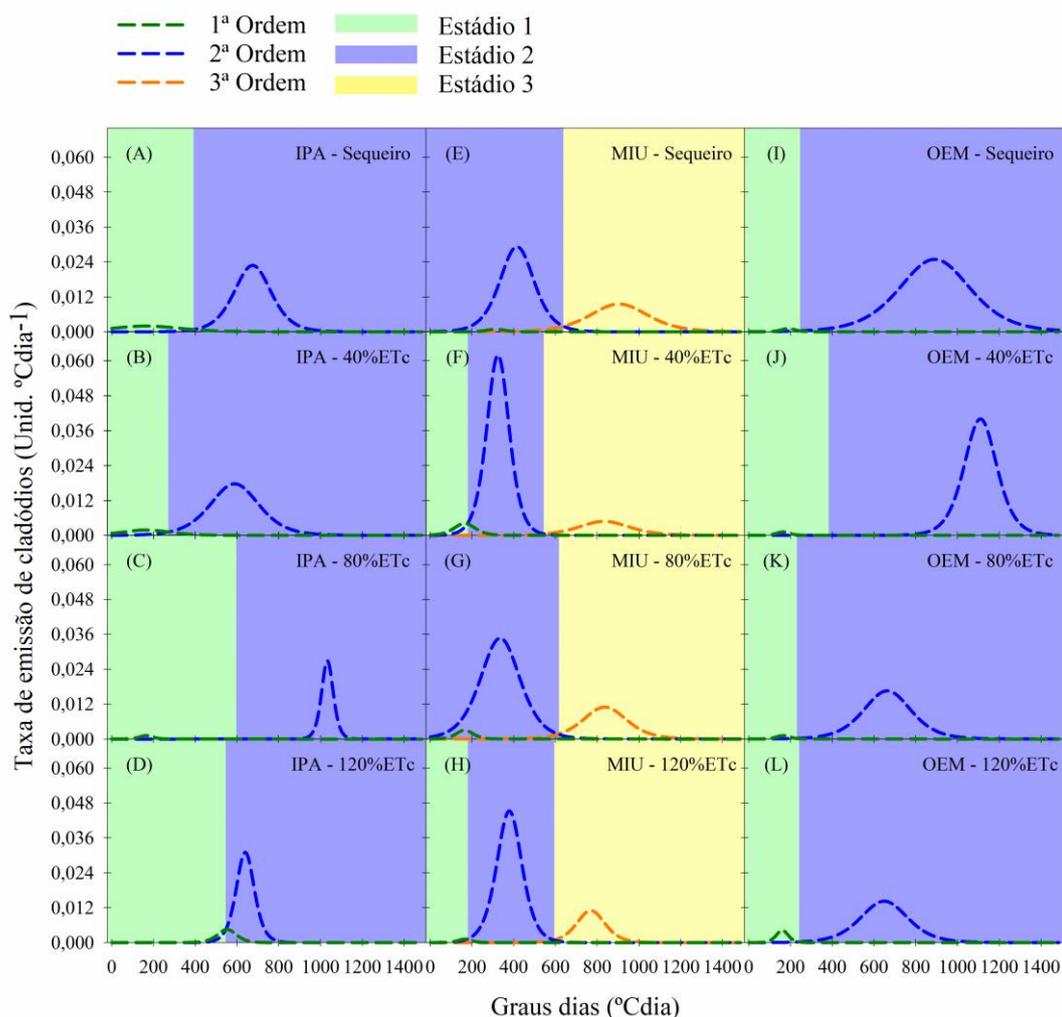
Quando observado a taxa média de emissão de cladódios para o clone MIU, constatou-se que os tratamentos SCC e SSC apresentaram os maiores valores (0,0028 e 0,0031 unid. °Cdia<sup>-1</sup>, respectivamente), em relação aos sistemas ICC e ISC (0,0021 e 0,0016 unid. °Cdia<sup>-1</sup>, respectivamente), indicado superioridade de 36% do sistema em sequeiro ao irrigado. Valores de 36% de superioridade entre as taxas médias de emissões de cladódios dos sistemas SCC e SSC foram observados, quando confrontados com os sistemas irrigados (ICC e ISC) para o clone IPA. No entanto, tais observações não foram constatadas no clone OEM, mostrando menores taxas médias de emissão de cladódios os sistemas ausentes de cobertura morta ISC e

SSC (0,0003 e 0,0011 unid. °Cdia<sup>-1</sup>, respectivamente), com diferença de 73% e 33% para os sistemas ICC e SCC, respectivamente.

O tempo térmico em graus dias acumulados (GDA, °Cdia) para os diferentes estádios fenológicos da palma forrageira estão dispostos na Tabela 1. O estágio fenológico um foi observada apenas no clone IPA com duração média de 217 °Cdia, o mesmo clone expôs média dentro dos tratamentos ICC e ISC de 2237 °Cdia, apresentando maior persistência do estágio fenológico dois, 28% maior em relação aos tratamentos SCC e SSC. Entre os sistemas de cultivo do clone IPA, apenas o tratamento SSC apresentou mudança do estágio dois para o três. O clone MIU apresentou em média quatro estádios fenológicos, exceto para a configuração de cultivo MIU-ICC, que apresentou cinco estádios fenológicos. As configurações de cultivo dentro do clone MIU que fizeram uso da irrigação (ICC e ISC) apresentaram valores médios dos estádios fenológicos dois, três e quatro (273, 472 e 1097 °Cdia, respectivamente) menores que os tratamentos em sequeiro (487, 702 e 1105 °Cdia).

Os tratamentos que se configuraram do clone OEM não apresentaram tendências a irrigação, com presença apenas do estágio fenológico dois para os sistemas ISC e SSC. Já os tratamentos que se constituíram da utilização de cobertura morta (ICC e SCC) apresentaram estádios fenológicos dois e três. O estágio fenológico dois tendeu a diminuir com o uso da cobertura morta em 53% quando confrontado ao sistema sem cobertura, independentemente de ser irrigado ou não.

As taxas de emissão de cladódios e estádios fenológicos de três clones de palma forrageira em sistema de cultivo com diferentes lâminas de irrigação são apresentadas na Fig. 3.



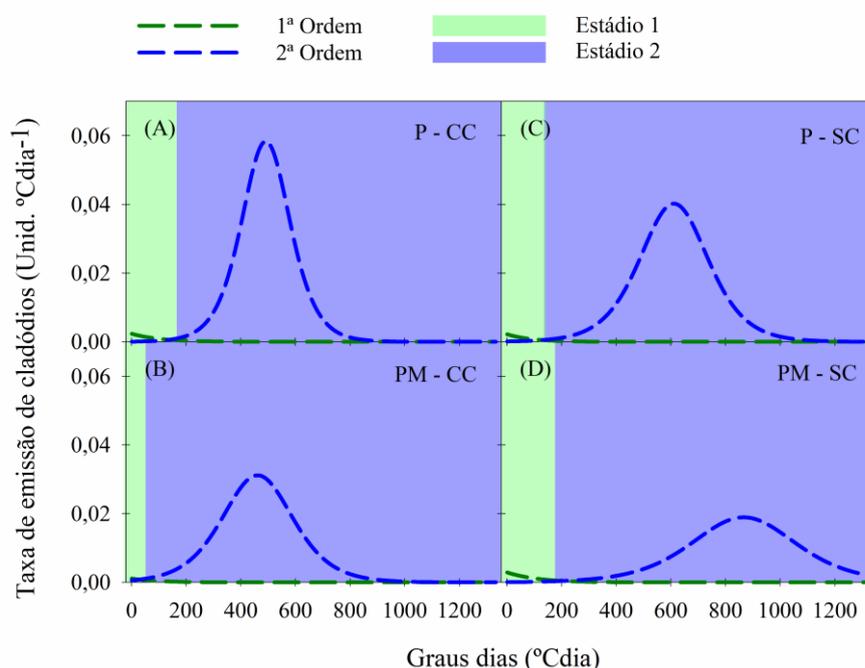
**Figura 3.** Estádios fenológicos de clones de palma forrageira (IPA - IPA Sertânia; MIU - Miúda e; OEM - Orelha de Elefante Mexicana) acometidos a diferentes lâminas de irrigação (0%ETc - sequeiro; 40%, 80% e 120% - frações da evapotranspiração da cultura) no Semiárido brasileiro.

A emissão de cladódios de primeira ordem não apresentou grandes contribuições para os três clones de palma forrageira avaliados (Fig. 3). O clone IPA tendeu a reduzir o tempo de emissão de cladódios de segunda ordem com o aumento das lâminas de irrigação empregadas, no entanto, esses tratamentos apresentaram picos de emissão 30% maiores em relação as lâminas de 0%ETc e 40%ETc. Apenas o clone MIU apresentou emissão de cladódios de terceira ordem e em valores médios a emissão de cladódios de segunda ordem foi superior para os tratamentos que receberam irrigação, os maiores valores foram alcançados pelo tratamento MIU-40%ETc com pico de 0,061 unid. °Cdia<sup>-1</sup>. Para clone OEM a emissão de cladódios de segunda ordem foi mais expressiva nos tratamentos que receberam as menores lâminas de

irrigação (sequeiro e 40%ETc), com emissão máxima de 0,04001 unid. °Cdia<sup>-1</sup> para o tratamento OEM-40%ETc.

Na Tabela 1 são apresentados os valores da duração dos estádios fenológicos em tempo térmico (°Cdia). O estágio fenológico um foi mais persistente no clone IPA, com média de 451 °Cdia, já o estágio dois tendeu a diminuir com o aumento da disponibilidade hídrica. O clone MIU apresentou os menores tempos de estágio fenológico dois (média 509 °Cdia) em relação aos demais clones. As diferentes disponibilidades hídricas não promoveram mudanças relevantes na duração do estágio fenológico três para o clone MIU, com duração média de 888 °Cdia (i.e., 160 dias). Os maiores tempos térmicos de duração de estádios fenológicos dois foram observados para o clone OEM, com média de 1212 °Cdia, aproximadamente 308 dias.

Na Fig. 4 são expressos os comportamentos das taxas de emissões de cladódios e estádios fenológicos dos sistemas de cultivo da palma forrageira em consórcio-cobertura.

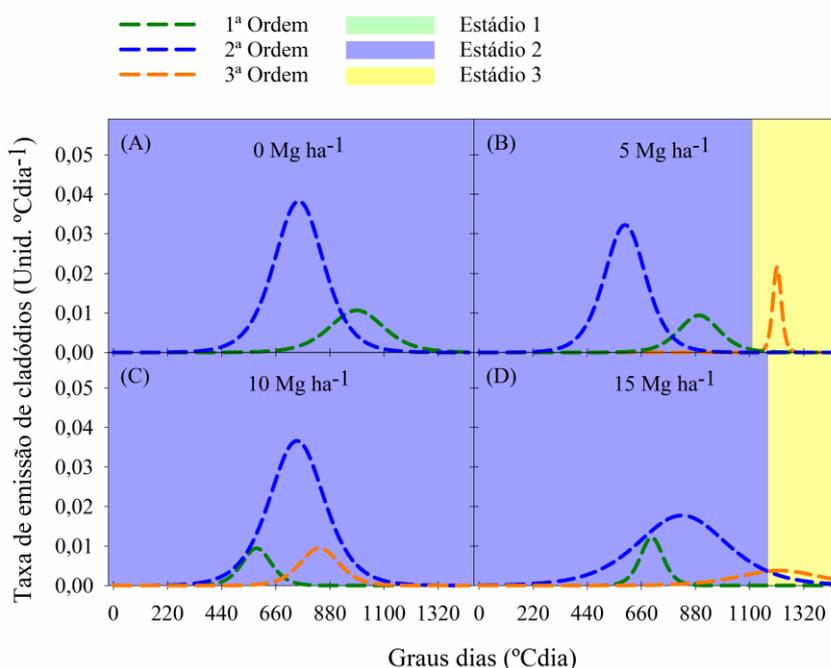


**Figura 4.** Estádios fenológicos na fase vegetativa do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana exclusivo e consorciado com milho sob dois níveis de cobertura morta (P-CC - palma com cobertura; P-SC - palma sem cobertura; PM-CC - palma-milho com cobertura; PM-SC - palma-milho sem cobertura), no Semiárido brasileiro.

Para todos os sistemas avaliados no presente estudo (Fig. 4), houve maior expressividade na emissão de cladódios de segunda ordem em relação ao de primeira. O maior

valor de emissão de cladódios de segunda ordem foi atingido no sistema P-CC que apresentou máxima de 0,0583 unid. °Cdia<sup>-1</sup>, já os outros, tenderam a diminuir (Fig. 4B, 4C e 4D) com média de 0,0301 unid. °Cdia<sup>-1</sup>. O pico máximo de emissão de cladódios foi antecipado nos sistemas que receberam cobertura morta, ocorrendo em média aos 476 °Cdia. Os menores valores de taxa de emissão de cladódios foram observados para o sistema PM-SC (média de 0,007 unid. °Cdia<sup>-1</sup>). Comumente todos os sistemas de palma forrageira consórcio-cobertura apresentaram estádios fenológicos um e dois, os quais, mostraram semelhanças no tempo de duração (Tabela 1). O estágio dois prevaleceu durante a maior parte do estudo com tempo térmico média de 1208 °Cdia.

O desempenho das taxas de emissão de cladódios e estádios fenológicos para a palma cultivada em diferentes níveis de cobertura morta estão apresentadas na Fig. 5.



**Figura 5.** Estádios fenológicos do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetida a diferentes níveis de cobertura morta do solo, no Semiárido brasileiro.

De modo geral, todos os tratamentos apresentaram emissão de cladódios de primeira e segunda ordem. Apenas os tratamentos que receberam níveis de cobertura morta apresentaram emissão de cladódios de terceira ordem. O ganho expressivo na taxa de emissão de cladódios de segunda ordem ocorreu próximo dos 440 °Cdia (i.e., 84 dias) do início dos tratamentos. A maior taxa de emissão de cladódios foi observada no sistema de solo exposto (sem cobertura)

com pico de 0,0382 unid. °Cdia<sup>-1</sup>. Os tratamentos sem cobertura e com 5 Mg ha<sup>-1</sup> de cobertura apresentaram retomada na taxa de emissão de cladódios de primeira ordem após redução na taxa de emissão dos cladódios de segunda ordem, ocorrendo próximo dos 859 °Cdia. Os tratamentos de 10 e 15 Mg ha<sup>-1</sup> de cobertura apresentaram taxas de emissões simultâneas para os cladódios de primeira, segunda e terceira ordens. O aumento gradativo da cobertura morta sobre o solo promoveu achatamento na taxa de emissão de cladódios terciários.

O tempo de duração dos estádios fenológicos estão expostos na Tabela 1. Embora todos os sistemas tenham apresentado emissões de cladódios de primeira ordem, não foi suficiente para que se estabelecesse o estágio fenológico um. O estágio dois mostrou-se predominante em todas as configurações de cultivo. O estágio três foi observado nos sistemas de 5 e 15 Mg ha<sup>-1</sup> de cobertura morta, com relativa semelhança no tempo térmico acumulado (média de 305 °Cdia).

**Tabela 1.** Duração em graus dias acumulados dos estádios fenológicos para os diferentes sistemas de produção.

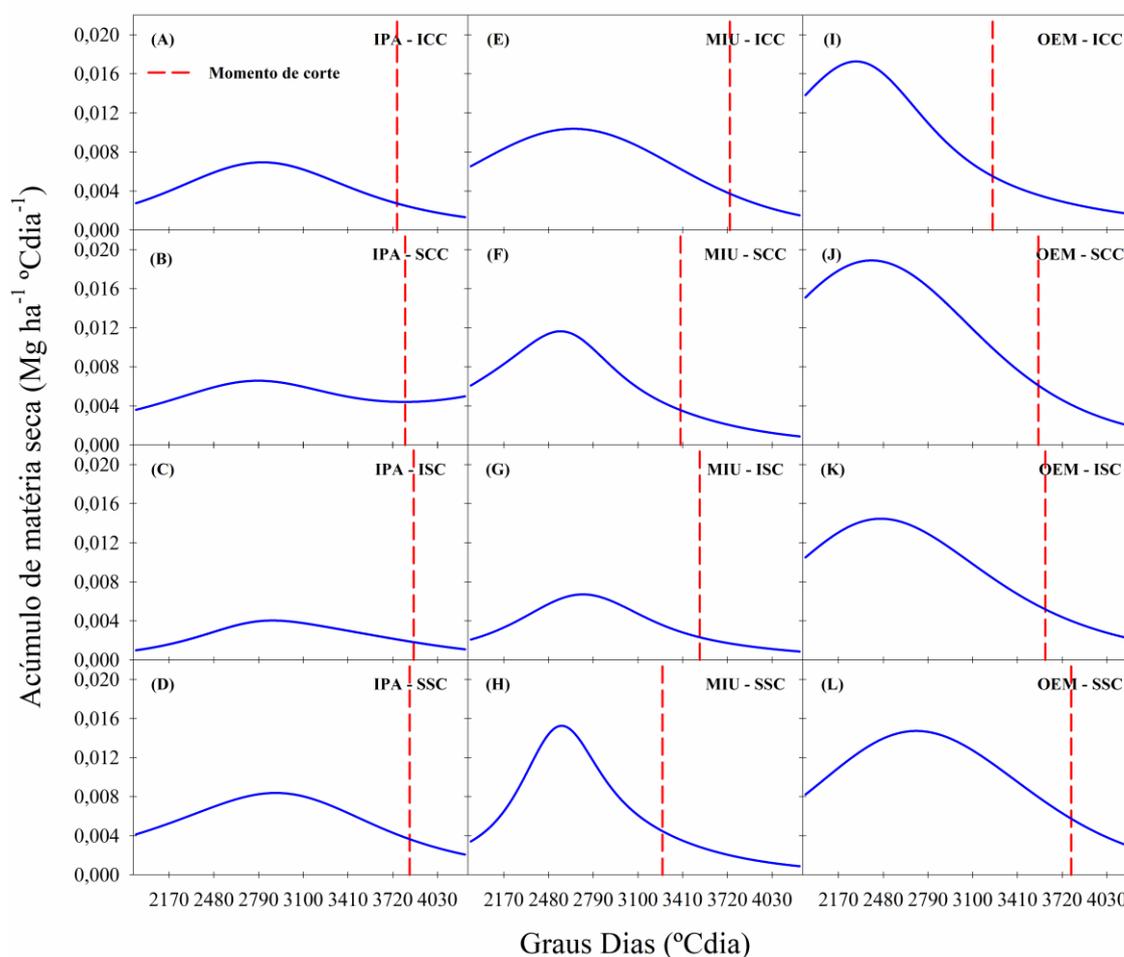
Cobertura-lâmina-clones						
Clone	Tratamento	Graus dias acumulados (GDA)				
		Estádio 1	Estádio 2	Estádio 3	Estádio 4	Estádio 5
IPA	ICC	-	2294	-	-	-
	ISC	114	2180	-	-	-
	SCC	321	1973	-	-	-
	SSC	-	1235	1059	-	-
MIU	ICC	-	218	493	679	904
	ISC	-	328	451	1515	-
	SCC	-	447	808	1039	-
	SSC	-	527	596	1171	-
OEM	ICC	-	1038	1256	-	-
	ISC	-	2294	-	-	-
	SCC	-	1107	1187	-	-
	SSC	-	2294	-	-	-
Lâminas de irrigação						
Clone	Tratamento	Graus dias acumulados (GDA)				
		Estádio 1	Estádio 2	Estádio 3	Estádio 4	Estádio 5
IPA	0%ETc	393	1093	-	-	-
	40%ETc	271	1215	-	-	-
	80%ETc	595	891	-	-	-
	120%ETc	546	940	-	-	-
MIU	0%ETc	-	638	848	-	-
	40%ETc	177	368	941	-	-
	80%ETc	-	613	873	-	-
	120%ETc	175	418	893	-	-
OEM	0%ETc	243	1243	-	-	-
	40%ETc	384	1102	-	-	-
	80%ETc	228	1258	-	-	-
	120%ETc	240	1246	-	-	-
Consórcio-cobertura						
Clone	Tratamento	Graus dias acumulados (GDA)				
		Estádio 1	Estádio 2	Estádio 3	Estádio 4	Estádio 5
OEM	PM-CC	29	1305	-	-	-
	PM-SC	130	1204	-	-	-
	P-CC	138	1196	-	-	-
	P-SC	206	1128	-	-	-
Níveis de cobertura						
Clone	Tratamento	Graus dias acumulados (GDA)				
		Estádio 1	Estádio 2	Estádio 3	Estádio 4	Estádio 5
OEM	0 Mg ha <sup>-1</sup>	-	1447	-	-	-
	5 Mg ha <sup>-1</sup>	-	1110	337	-	-
	10 Mg ha <sup>-1</sup>	-	1447	-	-	-
	15 Mg ha <sup>-1</sup>	-	1174	273	-	-

OEM - Orelha de Elefante Mexicana; MIU - Miúda; IPA - IPA Sertânia; ICC - irrigado com cobertura; ISC - irrigado sem cobertura; SCC - sequeiro com cobertura; SSC - sequeiro sem cobertura; ETc - evapotranspiração da cultura; PM-CC - Palma-milheto com cobertura; PM-SC - palma-milheto sem cobertura; P-CC - palma com cobertura; P-SC - palma sem cobertura; M-CC - milho com cobertura; M-SC - milho sem cobertura.

Note: - ausência de valor no estágio fenológico.

### 3.2. Momento de colheita ideal

Na Fig. 6 são apresentados o acúmulo de matéria seca e momento de colheita ideal para o sistema de cultivo cobertura-irrigação-clones.



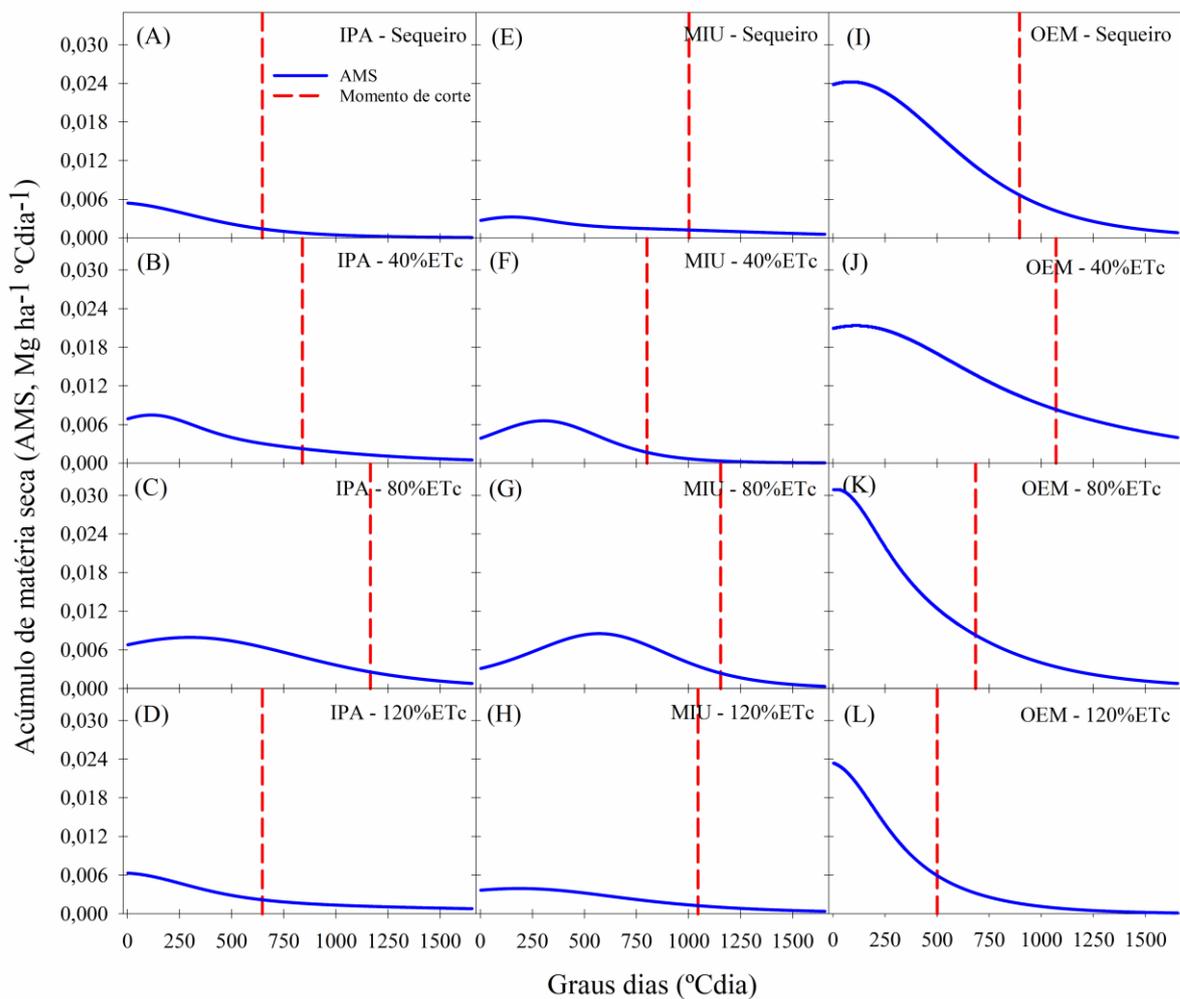
**Figura 6.** Acúmulo de matéria seca e momento de corte do sistema cobertura-lâmina-clones de palma forrageira (IPA - IPA Sertânia; MIU - Miúda e; OEM - Orelha de Elefante Mexicana; ICC - irrigado com cobertura; SCC - sequeiro com cobertura; ISC - irrigado sem cobertura e; SSC - sequeiro sem cobertura), no Semiárido brasileiro entre janeiro de 2017 e julho de 2018.

O clone IPA apresentou tempo térmico acumulado médio de 1874 °Cdia para o momento ideal de colheita, não foram observadas variações intensas nos momentos de colheita em relação aos tratamentos aplicados (e.g., ICC, SCC, ISC e SSC), havendo uma antecipação

sugerida de 121 dia (421 °Cdia) em relação a colheita real. Esse clone apresentou o maior retardamento do momento ideal de colheita em relação aos clones MIU e OEM, apresentando a menor média no acúmulo de matéria seca (0,0051 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>).

Para clone MIU houve maior antecipação no momento ideal de colheita para os tratamentos que não fizeram uso de irrigação, com tempo térmico acumulado de 1392 °Cdia (i.e., média de 333 dias), com indicação de antecipação da colheita em 6,71 meses em relação a data de colheita real na presente área. Para o mesmo clone os tratamentos irrigados prolongaram o ciclo da cultura, mas o sistema MIU-ICC apresentou a maior média na taxa de acúmulo de matéria seca, com 0,0069 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>. Para o clone OEM foram observadas as maiores taxas de acúmulo de matéria seca (média de 0,0097 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>). O sistema OEM-ICC apresentou redução entre o tempo de colheita ideal e o real de 982 °Cdia. Dentro do clone OEM o sistema de cultivo tradicional SSC apresentou a maior soma térmica acumulada para a determinação do ponto de colheita ideal, com duração de 1842 °Cdia.

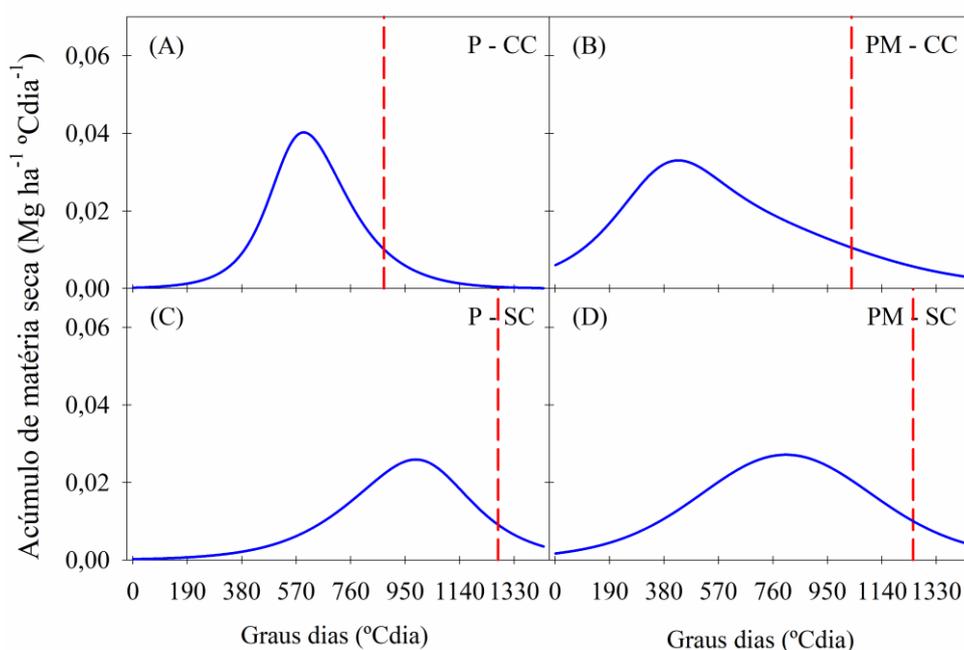
O momento de colheita ideal e a taxa de acúmulo de matéria seca para o sistema de cultivo com diferentes lâminas de irrigação são apresentados na Fig. 7. O acúmulo de matéria seca aumentou para o clone IPA com o incremento da lâmina de irrigação com maior média para lâmina de 80% da ETc (0,0047 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>), posteriormente, a fração de 120% da ETc acarretou em redução na taxa média de acúmulo de matéria seca. A indicação de colheita ideal para o clone de palma forrageira IPA apresentou prolongamento do ciclo até a lâmina de 80% da ETc e posterior redução (Tabela 2). Os menores valores de soma térmica para o momento ideal de colheita foram observados nos tratamentos em sequeiro e de 120% da evapotranspiração da cultura (média de 647 °Cdia), assim como, os menores valores de acúmulo de matéria seca (0,0016 e 0,0024 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, respectivamente).



**Figura 7.** Acúmulo de matéria seca e momento de corte do sistema clones de palma forrageira e lâminas de irrigação (IPA - IPA Sertânia; MIU - Miúda; OEM - Orelha de Elefante Mexicana; 0%ETc - sequeiro; 40%, 80% e 120% - frações da evapotranspiração da cultura) no Semiárido brasileiro.

A palma forrageira MIU, assim como o clone supracitado, manteve ascendência na taxa média de acúmulo de matéria seca até a lâmina de 80% da ETc (433,23 mm), com posterior decréscimo. A menor acúmulo de matéria seca foi observado no sistema MIU-Sequeiro, com valores médios de  $0,0016 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ . A fração de irrigação de 40% da ETc proporcionou o menor tempo térmico para o momento ideal de colheita (800  $^{\circ}\text{Cdia}$ ). As demais lâminas apresentaram indicações de colheita semelhantes, em média 1066  $^{\circ}\text{Cdia}$ . De maneira geral o clone OEM apresentou as maiores taxas de acúmulo de matéria seca, com média de  $0,0095 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ . Para o mesmo clone, a fração de 120% da ETc permitiu a maior diferença entre o momento de colheita ideal e o real, com uma antecipação em tempo térmico de 1154  $^{\circ}\text{Cdia}$ .

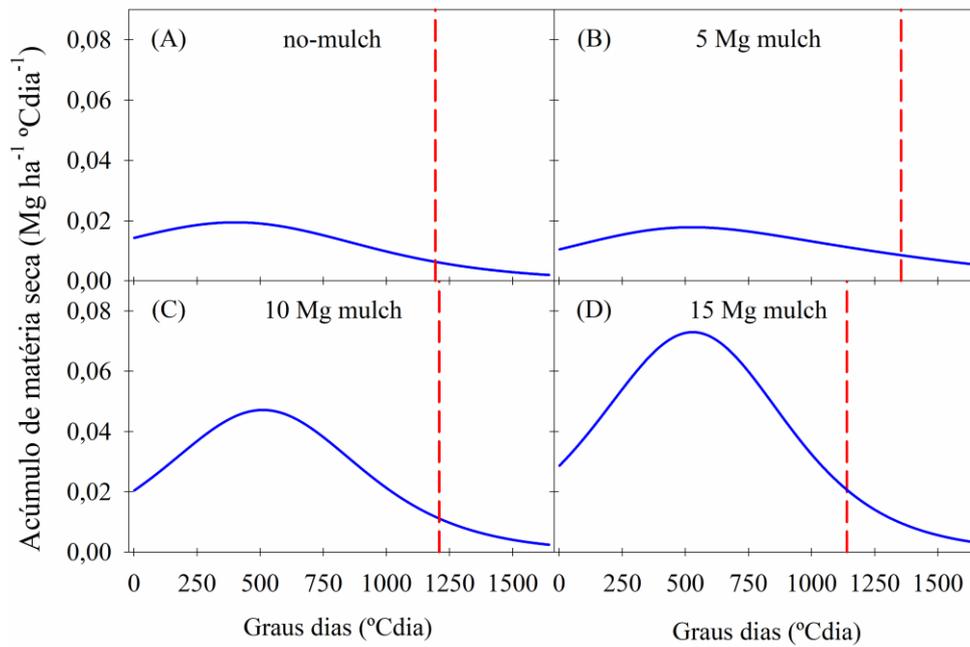
Diferentes arranjos de plantio levaram a distintos acúmulos de matéria seca e momento ideal de colheita (Fig. 8), para o sistema consórcio-cobertura. Fazendo a média dos dados para acúmulo de matéria seca, descobrimos que os tratamentos P-CC e PM-CC obtiveram os maiores picos (0,040 e 0,033 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, respectivamente). Para os sistemas sem cobertura morta ocorreu um retardo na taxa máxima de acúmulo de matéria seca, com média de 897 °Cdia. A maior defasagem entre o momento de colheita ideal e real foi observado para o cultivo de palma forrageira exclusiva com cobertura morta (837 °Cdia). Para o cultivo sem cobertura morta o momento ideal se deu quando a cultura atingiu soma térmica média de 1262 °Cdia (ver Tabela 2).



**Figura 8.** Acúmulo de matéria seca e momento de corte do sistema consorciado da palma exclusiva e palma forrageira com milho cultivado com e sem cobertura morta (P-CC - palma com cobertura; P-SC - palma sem cobertura; PM-CC - palma-milho com cobertura; PM-SC - palma-milho sem cobertura), no Semiárido brasileiro.

O sistema de cultivo da palma em diferentes níveis de cobertura morta apresentou os maiores valores na taxa de acúmulo de matéria seca para os tratamentos com 10 e 15 Mg por hectare de cobertura sobre o solo (Fig. 9), com valores médios de 0,0256 e 0,0387 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, respectivamente. Não foram observadas grandes divergências entre o momento de

colheita ideal para os distintos níveis de cobertura, com indicação de soma térmica média de 1225 °Cdia (Tabela 2) e antecipação da colheita em 143 dia.



**Figura 9.** Acúmulo de matéria seca e momento de corte do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana cultivada com níveis de cobertura morta no solo, no Semiárido brasileiro.

**Tabela 2.** Tempo térmico em graus dias acumulados do início dos tratamentos até a colheita para os diferentes sistemas de cultivo da palma forrageira

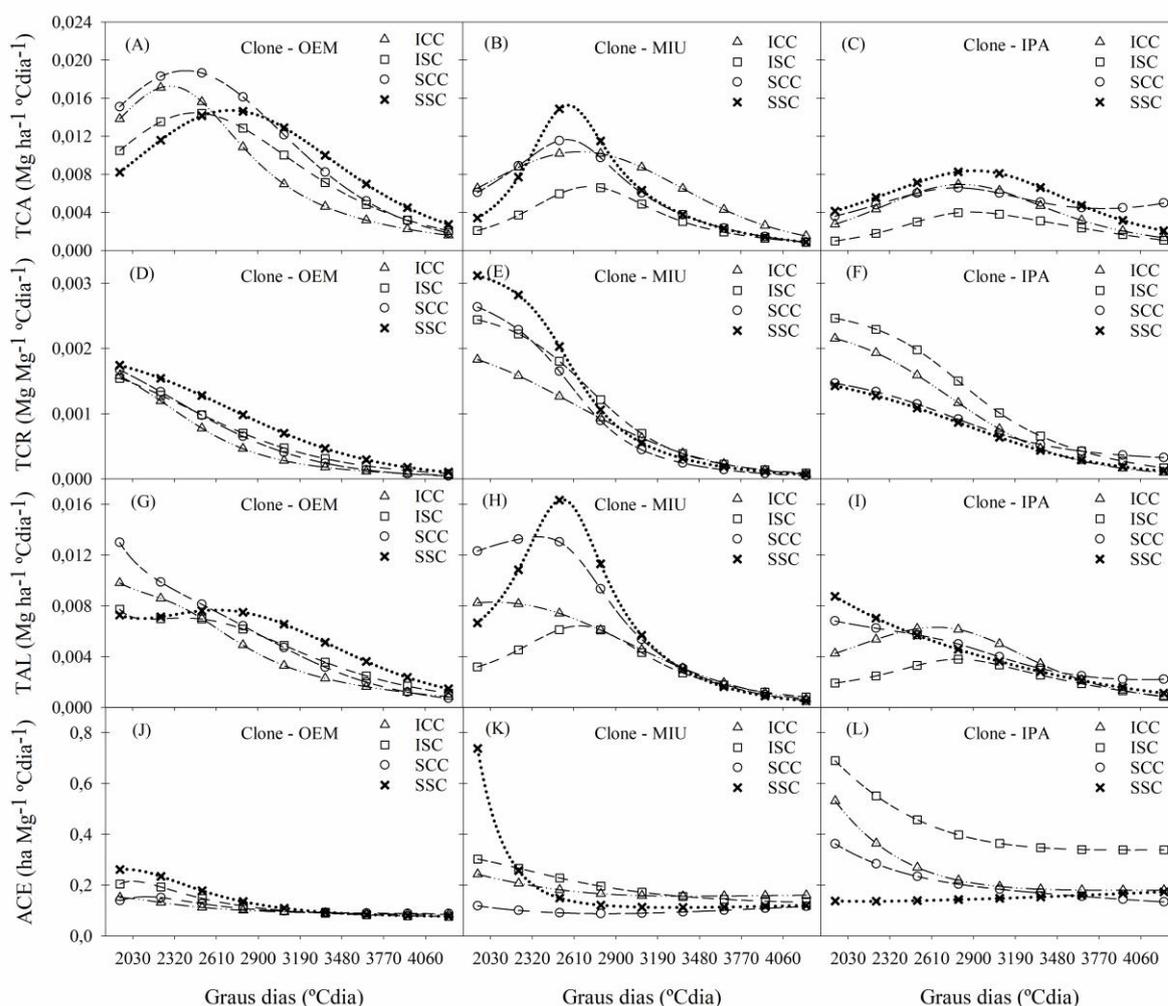
Cobertura-lâmina-clones					
Clones	ICC	ISC	SCC	SSC	Média
IPA	1809	1924	1865	1896	1874
MIU	1796	1587	1454	1329	1542
OEM	1298	1662	1614	1842	1604
Lâminas de irrigação					
Clones	0%ETc	40%ETc	80%ETc	120%ETc	Média
IPA	647	839	1165	647	825
MIU	1001	800	1153	1044	1000
OEM	894	1069	683	499	786
Consórcio-cobertura					
Sistema	CC		SC		Média
PM	1034		1249		1141,5
P	876		1274		1075
Níveis de cobertura					
Sistema	0 Mg ha <sup>-1</sup>	5 Mg ha <sup>-1</sup>	10 Mg ha <sup>-1</sup>	15 Mg ha <sup>-1</sup>	Média
CC	-	1355	1209	1140	1235
SC	1194	-	-	-	1194

OEM - Orelha de Elefante Mexicana; MIU - Miúda; IPA - IPA Sertânia; ICC - irrigado com cobertura; ISC - irrigado sem cobertura; SCC - sequeiro com cobertura; SSC - sequeiro sem cobertura; ETc - evapotranspiração da cultura; PM - Consórcio palma-milheto; P - palma exclusiva; CC - cultivo com cobertura; SC - cultivo sem cobertura.

Note: - valor não apresentado no sistema.

### 3.3. Índices morfofisiológicos

As curvas dos indicadores morfofisiológicos, taxas de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL) e área do cladódio específico (ACE) para o sistema cobertura-irrigação-clones, são apresentadas na Fig. 10.



**Figura 10.** Índices morfofisiológicos de crescimento de clones de palma forrageira cultivados em distintos sistemas de produção em ambiente semiárido, no período de janeiro de 2017 a julho de 2018. TCA - Taxa de crescimento absoluto (A, B e C); TCR - Taxa de crescimento relativo (D, E e F); TAL - Taxa de assimilação líquida (G, H e I); ACE - Área de cladódio específico (J, K e L).

Dentre todas as configurações estudadas, a TCA máxima foi registrada na configuração OEM-SCC (Figura 10A) seguido por OEM-SSC (0,0113 e 0,0101 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, respectivamente). O menor valor foi observado para o sistema de cultivo IPA-ISC (0,0026 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>) (Tabela 3). Observando individualmente os três clones de palma forrageira, a TCA apresentou comportamentos similares para os diferentes ambientes de cultivo. De forma geral, o clone OEM apresentou melhores desempenhos na variação de biomassa seca acumulada pela

planta, apresentando média de  $0,0097 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ . A maior média para o clone MIU foi observada quando submetido ao sistema ICC ( $0,0069 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ).

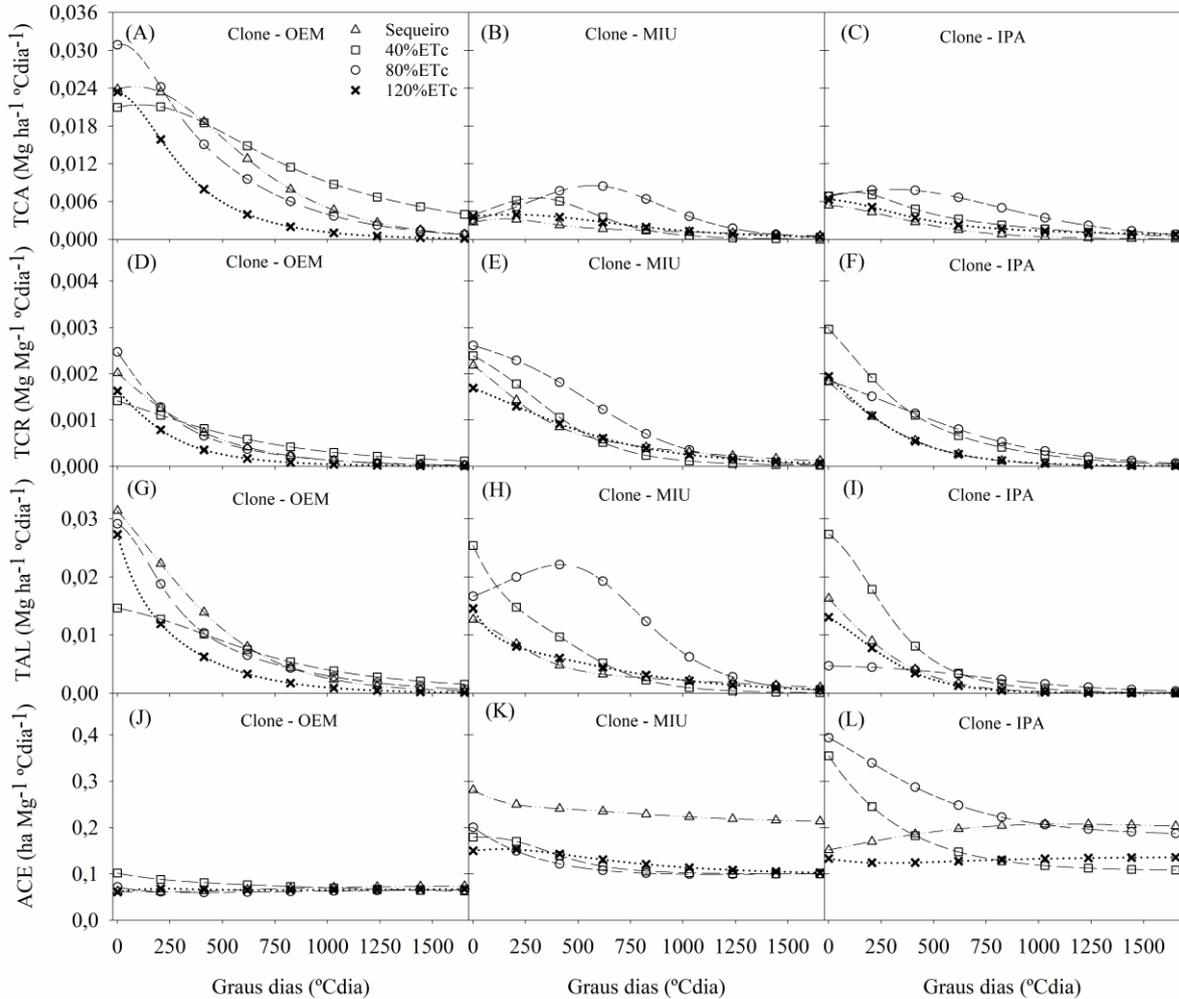
A TCR fornece informações sobre o desempenho fisiológico da planta para a produção de matéria seca, ou seja, quanto a planta produz em unidade de peso seco por matéria seca preexistente por unidade de tempo (nesse trabalho, unidade térmica). Para cada clone de palma forrageira estudado, os valores de TCR externaram-se mais elevados na fase inicial (Figs. 10D, 10E, 10F), com posterior enfraquecimento e tendendo a estabilizar. Os clones OEM e MIU apresentaram maiores valores na TCR quando submetidos ao sistema SSC ( $0,00079$  e  $0,00108 \text{ Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ , respectivamente) (Tabela 3), já para o clone IPA os maiores valores foram alcançados para os tratamentos irrigados com média de  $0,00106 \text{ Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ .

Os maiores valores de taxa de assimilação líquida foram observados para o clone MIU, com média de  $0,0054 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$  (Fig. 10E). A TAL para o clone OEM apresentou comportamento semelhante a TCR, com maior conversão de fotoassimilados quando submetido ao sistema SSC. A configuração IPA-ISC apresentou os menores valores (média de  $0,0025 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ). Foram observados declínio na TAL para ambos os gêneros estudados (*Opuntia* e *Nopalea*) quando a soma térmica se acumulou próximo a  $669 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}$ .

Inicialmente observou-se maiores valores para a ACE dentro dos distintos sistemas de cultivo, seguindo em declínio até atingir soma térmica de  $959 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}$ , e posterior estabilidade (Figura 10J, 10K e 10L). Os maiores valores foram observados para a configuração de cultivo IPA-ISC ( $0,4122 \text{ ha Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ). O clone MIL apresentou maiores valores de área do cladódio específico para os tratamentos submetidos a irrigação. Os diferentes sistemas de cultivo impostos ao clone OEM apresentaram valores bem semelhantes de ACE, com média de  $0,1165 \text{ ha Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ .

Os indicadores morfofisiológicos para o cultivo de palma forrageira submetido a diferentes lâminas de irrigação são apresentados na Fig. 11. Os maiores valores para a TCA foram observados dentro do clone OEM, com destaque para o sistema que recebeu 40% da ETc, alcançando média de  $0,0123 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$  (Tabela 3), seguido de declínio para as lâminas de irrigação subsequentes. Esse clone apresentou valores máximos no início do ciclo, após esse período a velocidade de ganho de matéria seca diminuiu, com tendência a estabilização depois de atingir soma térmica de  $1250 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}$ . Os clones do gênero *Nopalea* apresentaram comportamentos semelhantes na velocidade de ganho de matéria seca, apresentando maiores ganhos quando aplicado a lâmina de 80% da ETc, expondo médias de  $0,0044$  e  $0,0047 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$  para os clones MIU e IPA, respectivamente. As menores TCA foram observadas

quando esses clones permaneceram em condição de sequeiro (0%ETc, média de 0,0016 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>).



**Figura 11.** Índices morfofisiológicos de crescimento de clones de palma forrageira cultivados com diferentes lâminas de irrigação em ambiente semiárido, no período de maio de 2019 a março de 2020. TCA - Taxa de crescimento absoluto (A, B e C); TCR - Taxa de crescimento relativo (D, E e F); TAL - Taxa de assimilação líquida (G, H e I); ACE - Área de cladódio específico (J, K e L).

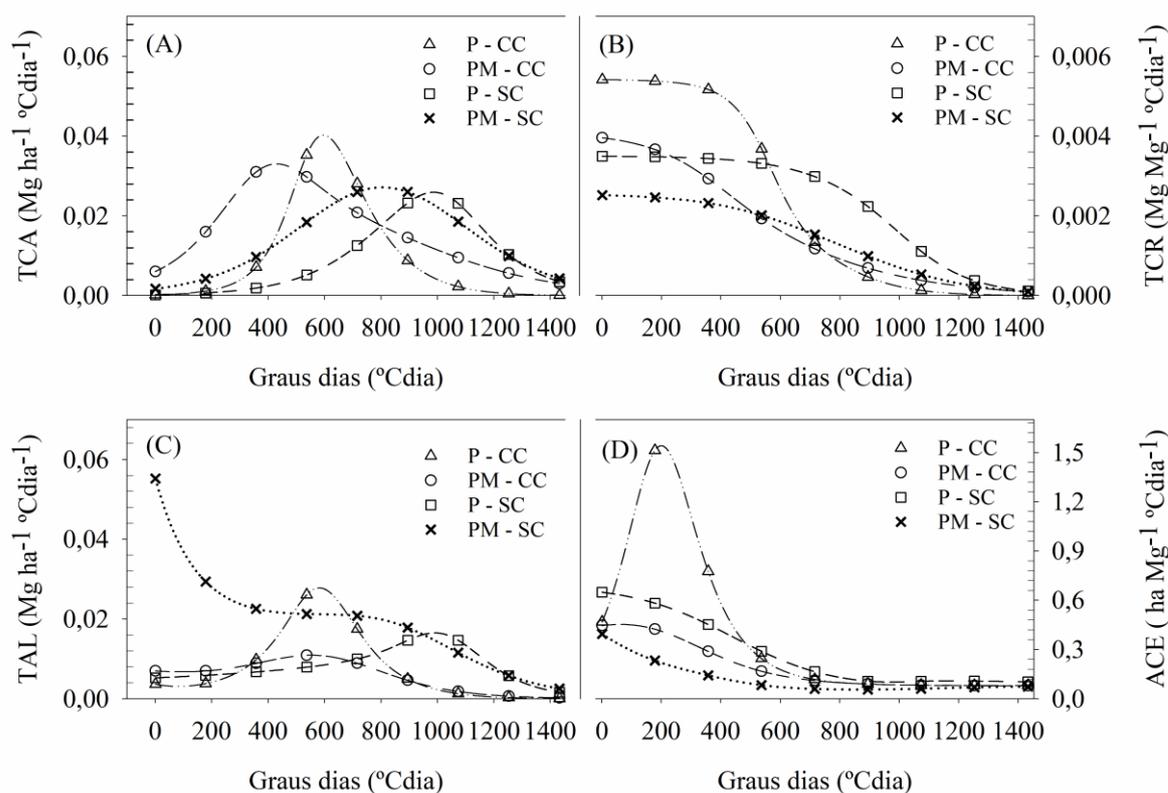
As taxas de crescimento relativo apresentaram valores máximos no início do ciclo da cultura para as diferentes lâminas de irrigação e clones de palma (Figs. 11D, 11E e 11F). Os três clones avaliados obtiveram comportamento similares na TCR. Os clones MIU e IPA obtiveram maiores conversão de matéria seca por unidade de massa preexistente por unidade de tempo para as lâminas de 80% e 40% da evapotranspiração da cultura, respectivamente

(Tabela 3). Os menores valores de TCR foram observados quando aplicado lâminas de 120% da ETc (658,82 mm) seguindo média de  $0,0012 \text{ Mg Mg}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$ .

Genericamente os valores máximos para a TAL foram encontrados inicialmente (Figs. 11G, 11H e 11I). Conforme acumularam soma térmica próximo de  $750 \text{ }^\circ\text{Cdia}$ , os sistemas predispuseram estabilizar em valores mínimos. Os maiores valores de TAL foram encontrados para o clone OEM, apresentando média de  $0,0068 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$  (Tabela 3). Quando observadas as lâminas de irrigação, os sistemas que receberam 120% da ETc apresentaram os menores valores (média de  $0,0036 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ). A maior taxa de assimilação líquida foi demonstrada pela configuração MIU-80%ETc conforme apresentado na Tabela 3.

A área de cladódio específico para os clones OEM e MIU atingiram valores máximos no início do ciclo para todas as lâminas de irrigação, demonstrando ínfimo declínio até próximo de acumular  $500 \text{ }^\circ\text{Cdia}$ , seguindo-se estável até o final do período avaliado. O clone IPA expressou maiores valores iniciais para os tratamentos de 40% e 80% da ETc, com acentuado declínio até atingir  $1000 \text{ }^\circ\text{Cdia}$ . O sistema em sequeiro (i.e., 0%ETc) apresentou os maiores valores médios de ACE ( $0,1651 \text{ ha Mg}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ).

Quando avaliado o sistema consórcio-cobertura, foram presenciadas diferentes tendências para os indicadores morfofisiológicos (Fig. 12). A taxa de crescimento absoluto (TCA) apresentou antecipação nos picos para os sistemas que receberam cobertura morta sobre o solo, ficando esses concentrados entre as somas térmicas de  $400$  e  $600 \text{ }^\circ\text{Cdia}$ . Os sistemas de cultivo da palma exclusiva e consorciada com milho que não receberam cobertura morta sobre o solo apresentaram um retardamento na velocidade de ganho em termos de matéria seca, com picos entre  $800$  e  $1000 \text{ }^\circ\text{Cdia}$ . Em termos médios a TCA foi elevada nos tratamentos de palma consorciada com milho ( $0,0155 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ). O tratamento controle (P-SC) expressou os menores valores de TCA (Tabela 3).



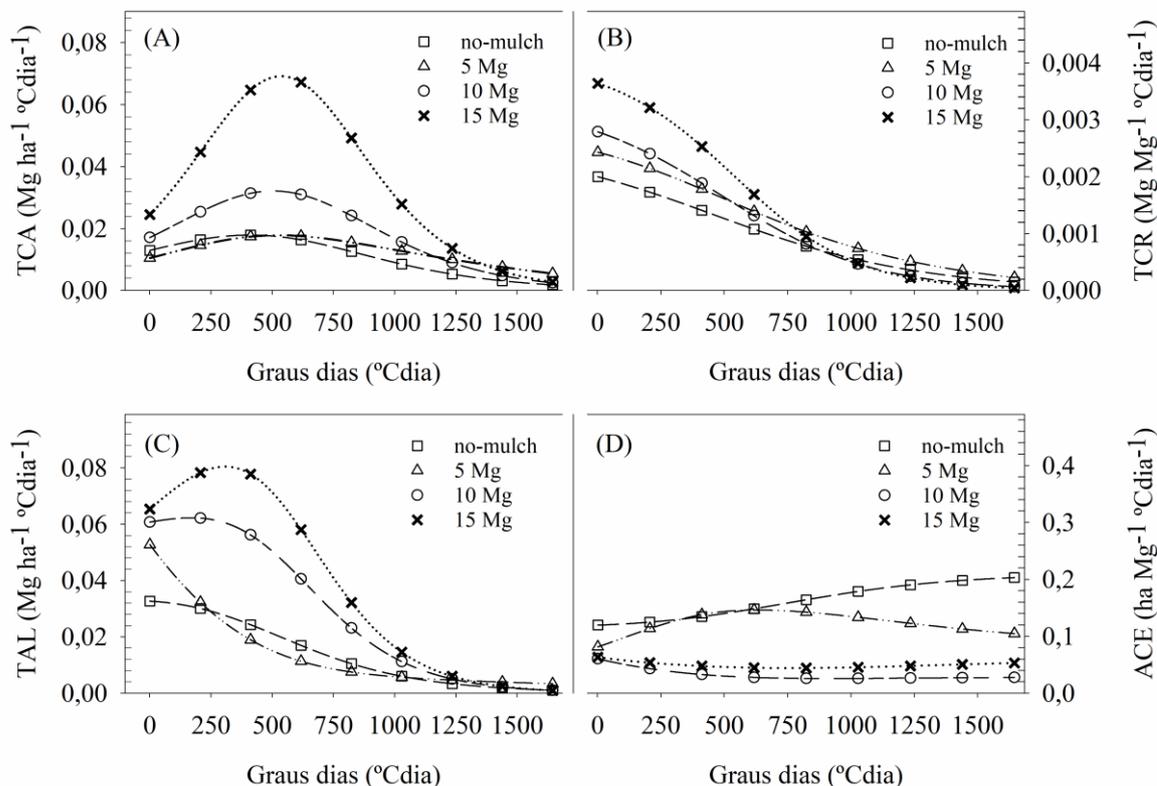
**Figura 12.** Índices morfofisiológicos de crescimento da palma forrageira cultivada exclusiva e consorciada com milho em ambiente semiárido. TCA - Taxa de crescimento absoluto (A); TCR - Taxa de crescimento relativo (B); TAL - Taxa de assimilação líquida (C); ACE - Área de cladódio específico (D); P-CC - palma exclusiva com cobertura; PM-CC - consócio palma-milho com cobertura; P-SC - palma exclusiva sem cobertura e; PM-SC - consócio palma-milho sem cobertura.

A taxa de crescimento relativo foi mais vantajosa nos sistemas de cultivo exclusivo da palma forrageira (Fig. 12B), apresentando valores médios de  $0,00235 \text{ Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$  (ver Tabela 3). A configuração de cultivo da palma-milho sem cobertura morta consistiu nos menores ganhos de TCR ( $0,00142 \text{ Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ). Independente do sistema avaliado, houve persistência na TCR até próximo dos  $1100 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}$ . Assim como a TCA, a TAL demonstrou comportamento semelhantes (Fig. 12C). O menor valor de TAL foi obtido pelo sistema PM-CC conforme demonstrado na Tabela 3.

Foram alcançados valores máximos para ACE no início do ciclo, exceto para o sistema de cultivo palma exclusiva com cobertura morta, que teve pico máximo aos  $201 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}$  (i.e., 50 dias de ciclo). Os demais sistemas apresentaram comportamentos semelhantes para ACE, com

estabilização seguinte aos 700 °Cdia. Os maiores valores de ACE foram observados para o cultivo de palma exclusivo (Tabela 3).

Nas Figs. 13A, 13B, 13C e 13D, confirma-se o comportamento das taxas de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL) e área de cladódio específica (ACE), na devida ordem, para o sistema de cultivo sob diferentes níveis de cobertura morta.



**Figura 13.** Índices morfofisiológicos de crescimento da palma forrageira cultivada sob distintos níveis de cobertura morta, em ambiente semiárido. TCA - Taxa de crescimento absoluto (A); TCR - Taxa de crescimento relativo (B); TAL - Taxa de assimilação líquida (C); ACE - Área de cladódio específico (D).

Os diferentes níveis de cobertura morta apresentaram tendências semelhantes para a TCA, expressando máxima velocidade de massa seca aos 500 °Cdia, aproximadamente. O tratamento controle (no-mulch, NM) apresentou os menores valores médios para TCA (0,012 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>), ao passo que, o incremento dos níveis de cobertura promovera acréscimos na TCA (Tabela 3). Para a TCR, os maiores valores foram constatados inicialmente, com decréscimo tênue, com valores mínimos após acúmulo de 1500 °Cdia. A magnitude dos valores

apresentou tendências similares aos de TCA, com o incremento da taxa à proporção que incrementou os níveis de cobertura, com maior média para o tratamento de 15 Mg ha<sup>-1</sup> de cobertura (0,0013 Mg Mg<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>) (Tabela 3).

A palma forrageira apresentou maiores valores de TAL quando cultivada sob 15 Mg ha<sup>-1</sup> de palha (0,0373 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>), atingindo seu máximo aos 68 dias (291 °Cdia). Os valores de TAL estabilizaram-se próximos dos 1250 °Cdia. O sistema NM apresentou os menores valores de TAL (Tabela 3). Quando observado o comportamento da ACE, constata-se acréscimo para o sistema NM (tratamento controle), com maiores valores médios (0,1624 ha Mg<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>). Os valores de ACE para os tratamentos com maiores níveis de cobertura (10 e 15 Mg ha<sup>-1</sup>) expressaram comportamento estável ao longo da época de estudo, apresentando valores mínimos (média de 0,0401 ha Mg<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>).

**Tabela 3.** Valores médios dos índices morfofisiológicos de clones de palma forrageira submetidos a múltiplos sistemas de cultivo no semiárido brasileiro

Cobertura-irrigação-clones				
Clone	IPA			
Tratamento	TCA	TCR	TAL	ACE
ICC	0,0045	0,0009	0,004	0,2413
ISC	0,0026	0,0012	0,0025	0,4122
SCC	0,0052	0,0008	0,0041	0,2017
SSC	0,0059	0,0007	0,0086	0,15
Média	0,0045	0,0009	0,0048	0,2513
Clone	MIU			
Tratamento	TCA	TCR	TAL	ACE
ICC	0,0069	0,0008	0,0046	0,173
ISC	0,0036	0,0010	0,0036	0,1892
SCC	0,0059	0,0009	0,0067	0,0982
SSC	0,0063	0,0011	0,0067	0,1669
Média	0,0057	0,0009	0,0054	0,1568
Clone	OEM			
Tratamento	TCA	TCR	TAL	ACE
ICC	0,0086	0,0005	0,0043	0,1023
ISC	0,0091	0,0006	0,0046	0,1195
SCC	0,0113	0,0006	0,0052	0,1089
SSC	0,0101	0,0008	0,0055	0,1355
Média	0,0098	0,0006	0,0049	0,1165
Lâminas de irrigação				
Clone	IPA			
Tratamento	TCA	TCR	TAL	ACE
0%ETc	0,0016	0,0004	0,0029	0,1962
40%ETc	0,0031	0,0008	0,0057	0,1577

80%ETc	0,0048	0,0007	0,0025	0,2468
120%ETc	0,0024	0,0004	0,0024	0,1416
Média	0,0029	0,0006	0,0034	0,1856
Clone				
		MIU		
Tratamento	TCA	TCR	TAL	ACE
0%ETc	0,0017	0,0006	0,0039	0,2317
40%ETc	0,0026	0,0006	0,0056	0,1218
80%ETc	0,0045	0,001	0,0116	0,1152
120%ETc	0,0021	0,0006	0,0041	0,125
Média	0,0027	0,0007	0,0063	0,1484
Clone				
		OEM		
Tratamento	TCA	TCR	TAL	ACE
0%ETc	0,0105	0,0005	0,0085	0,0676
40%ETc	0,0124	0,0005	0,0066	0,075
80%ETc	0,0098	0,0005	0,0075	0,0627
120%ETc	0,0054	0,0003	0,0045	0,0658
Média	0,0095	0,0005	0,0068	0,0678
Consócio-cobertura				
		Palma-milheto		
Tratamento	TCA	TCR	TAL	ACE
CC	0,0165	0,0016	0,0058	0,1029
SC	0,0145	0,0014	0,0193	0,1151
Média	0,0155	0,0015	0,0125	0,109
		Palma exclusiva		
Tratamento	TCA	TCR	TAL	ACE
CC	0,0104	0,0024	0,0081	0,4015
SC	0,0099	0,0023	0,0086	0,2726
Média	0,0101	0,0024	0,0084	0,337
Níveis de cobertura				
		Níveis de cobertura		
Sistema	TCA	TCR	TAL	ACE
0 Mg	0,012	0,0009	0,0096	0,1624
5 Mg	0,013	0,0012	0,0138	0,1256
10 Mg	0,0256	0,0012	0,029	0,0313
15 Mg	0,0388	0,0013	0,0373	0,0488
Média-WM	0,0258	0,0012	0,0267	0,0686

TCA - taxa de crescimento absoluto; TCR - taxa de crescimento relativo; TAL - taxa de assimilação líquida; ACE - área do cladódio específico; OEM - Orelha de Elefante Mexicana; MIU - Miúda; IPA - IPA Sertânia; ICC - irrigado com cobertura; ISC - irrigado sem cobertura; SCC - sequeiro com cobertura; SSC - sequeiro sem cobertura; ETc - evapotranspiração da cultura; CC - sistema com cobertura morta; SC - sistema sem cobertura morta.

## 4. Discussão

### 4.1. Estádios fenológicos da palma forrageira

Constatamos a diminuta presença da taxa de emissão de cladódios de primeira ordem, bem como a ausência de estágio fenológico um para a maioria dos sistemas avaliados (cobertura-irrigação-clones, ver Fig. 2). A diferenciação dos tratamentos foi realizada quando a cultura atingiu um ano de cultivo em sistema de sequeiro, não havendo corte de uniformização. Esse fato, acarretou em estabelecimento dos cladódios primários (primeira ordem) anterior ao início dos tratamentos aplicados.

Os resultados obtidos para o sistema de cultivo cobertura-irrigação-clones, apontam que a espécie *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (clone Miúda) emitiu o maior número de cladódios por ordem e alcançou o maior desenvolvimento em termos de estádios fenológicos dentro da fase vegetativa (Fig. 2). Essa característica é inerente da espécie, investindo maiores recursos na emissão de cladódios de ordens superiores (SILVA et al., 2014a; SILVA et al., 2015a). Os clones MIU e IPA apresentaram melhores desempenhos das taxas de emissão de cladódios quando expostos ao regime de sequeiro (limitando-se aos eventos de chuva, 1000 mm ciclo<sup>-1</sup>). Embora as plantas pertencentes ao gênero *Nopalea* sejam mais beneficiadas em ambientes com maior disponibilidade hídrica em comparação às *Opuntia* (PEREIRA et al., 2015), o excesso de água pode acarretar em perdas, ocasionando a senescência de órgãos e aumento na mortalidade de plantas (SILVA et al., 2015a). A lenta taxa de emissão de cladódios no sistema irrigados (precipitação + irrigação, 1685 mm ciclo<sup>-1</sup>) pode ser explicado pelo excesso de água no solo. Silva et al. (2015b) observaram reduzido crescimento em plantas do gênero *Nopalea* quando expostos a maiores conteúdos de água no solo.

Contrário à *N. cochenillifera*, a espécie *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. (clone OEM), mostrou desempenhos superior para os sistemas que utilizaram palhada sobre o solo (Fig. 2), mostrando comportamentos semelhantes dentro dos tratamentos irrigado e sequeiro, apresentando estádios fenológicos análogos. Esse fato tem relação com os benefícios da cobertura morta. O uso da cobertura de palha sobre o solo possibilita a melhoria do microclima local, reduzindo a amplitude térmica do solo, favorecendo maior uniformidade na distribuição de água, melhorando aspectos físicos e incrementando matéria orgânica, favorecendo a atividade dos micro-organismos (GAO et al., 2019). Todos esses benefícios, na sua maioria, favorecem o melhor desempenho das culturas (LI et al., 2018b). De acordo com Snyman (2006), que estudou o comportamento do sistema radicular em plantas de *Opuntia* sp., observou que as mesmas apresentavam rápido desenvolvimento e maior distribuição do sistema radicular em solos que apresentavam condições mais favoráveis. Oliveira et al. (2010) relatam que plantas de *Opuntia* sp. podem atingir um espalhamento lateral das raízes de até 1,8 m de raio. Fatores

dessa natureza podem ter ocorrido com a *O. stricta* no presente estudo, possibilitando uma maior exploração dos recursos disponíveis, maximizando o crescimento e o desenvolvimento de tais sistemas de produção.

O sistema de cultivo lâminas de irrigação para os três clones de palma forrageira (Fig. 3) mostrou sensibilidade ao excesso de água no início do ciclo, período em que não houve desenvolvimento expressivo das taxas de emissão de cladódios de primeira e segunda ordem. Durante o período inicial (120 dias) houve excesso de água no sistema, totalizando entre precipitação e irrigação 409, 455, 505 e 556 mm de água para os tratamentos de sequeiro (0%ETc), 40%, 80% e 120% da ETc, respectivamente. Esse atributo justifica a estagnação das plantas, uma vez que, as mesmas não apresentam bons desempenhos em ambientes com água em excesso (QUEIROZ et al., 2015). Para Oliveira et al. (2010) e Silva et al. (2017) as plantas de palma quando expostas a uma média de 75 mm mês<sup>-1</sup> apresentam quedas no desenvolvimento. Confirmando o ocorrido no presente estudo com média de 102 mm mês<sup>-1</sup> para o período supracitado.

Após cessar o período chuvoso (julho de 2019, Fig. 1B) as plantas de palma apresentaram rápida emissão de cladódios de segunda ordem (Fig. 3). Esse ocorrido coincidiu com o aumento da evapotranspiração de referência e a redução da disponibilidade hídrica durante um período de 163 dias, em que a maior lâmina de irrigação (120%ETc) forneceu 64 mm mês<sup>-1</sup>. A posterior redução na taxa de emissão de cladódios secundários pode ser atribuída ao retorno do período chuvoso no ano subsequente. De maneira geral, tanto a limitação, quanto o excesso de água no sistema de cultivo pode interferir no crescimento das plantas, as quais alteram sua morfologia como resposta ao estresse (AMORIM et al., 2017).

O cultivo de *Opuntia stricta* (clone OEM) mostrou maiores valores para emissão de cladódios de segunda ordem (Fig. 4). Os benefícios da cobertura morta podem ser observados mais uma vez, sobre o clone OEM, visto que o cultivo com cobertura morta apresentou máximo desempenho na emissão de cladódios de segunda ordem. Diversos trabalhos mostram os ganhos em cultivos que fazem uso dessa prática (DASS; BHATTACHARYYA, 2017; LI et al., 2018; COELLO et al., 2018). A cobertura morta promove redução do componente evaporação no sistema, disponibilizando maior conteúdo de água para as culturas, favorecendo o componente transpiração, acarretando em maior fluxo de seiva na planta, possibilitando maiores taxas de assimilação líquida, permitindo maiores índices de área foliar e rendimento, uma vez que a evaporação é um componente improdutivo no sistema de produção (WANG et al., 2020; LÓPEZ-URREA et al., 2020; ZHANG et al., 2020; ZHENG et al., 2021). Estudos realizados

por Zheng et al. (2021) observaram redução na evaporação e aumento de 33% da transpiração em plantas C4 quando utilizado cobertura morta sobre o solo. Liguori et al. (2013) observaram que cladódios *Opuntia ficus indica* de até um ano de idade apresentam maior captação de CO<sub>2</sub> quando comparados a cladódios maduros (> 1 ano), contribuindo para uma maior transpiração da cultura.

Os sistemas consorciados com milho apresentaram menor desempenho na taxa de emissão de cladódios de segunda ordem (Fig. 4) quando confrontado aos sistemas de cultivo de *O. stricta* exclusivo. O cultivo simultâneo de duas ou mais espécies pode expressar competição interespecífica por fatores biofísicos no sistema, sendo capaz de reduzir o desempenho individual das culturas (HUANG et al., 2018; ZHANG et al., 2020). Lima et al. (2018) estudando o consórcio *O. stricta* e *Sorghum bicolor* em ambiente semiárido, não encontraram alterações na morfologia de cladódios de palma. Já Silva et al. (2013), enfatizam que a palma responde de maneira distinta a depender da espécie consorciada.

Em pesquisa conduzida por Carvalho et al. (2017), relacionada ao conteúdo de água no solo cultivado com *O. stricta* em sistema consorciado com C4 (*S. bicolor*) e uso de cobertura morta, mostraram que essa prática reduziu a variação da água disponível, ao passo que o consórcio contribuiu para redução do conteúdo de água, justificado pelo maior volume de raízes, enfatizando a transferência de água para a atmosfera. Associações semelhantes podem ser atribuídas aos achados no presente estudo, para redução na taxa de emissão de cladódios. No entanto, o consórcio com *Pennisetum glaucum* não apresentou grande disparidade entre a duração dos estádios fenológicos na palma.

A espécie *O. stricta* (clone OEM) no seu primeiro ano produtivo sob diferentes níveis de cobertura morta mostrou grande duração do estágio fenológico dois, decorrente da persistência na taxa de emissão de cladódios de segunda ordem (Fig. 5). Esse traço morfológico foi observado em outros estudos em região semiárida com o clone OEM (QUEIROZ et al., 2015; AMORIM et al., 2017). Isso foi repetido nas demais áreas avaliadas no nosso estudo. A baixa taxa de emissão de cladódios de terceira ordem está relacionada a baixa eficiência fotossintética dos mesmos, atuando esses como fontes de dreno, ficando os cladódios primários e secundários como principais produtores de fotoassimilados (AMORIM et al., 2017). Os sistemas de cultivo que utilizaram níveis de cobertura morta desde o mais básico (5 Mg ha<sup>-1</sup>) até o mais alto (15 Mg ha<sup>-1</sup>) proporcionaram emissão de cladódios de terceira ordem e retomada dos cladódios primários, ocorrendo simultaneamente no estágio fenológico dois.

De maneira geral, o entendimento do desempenho fenológico das culturas dentro de distintos sistemas de cultivo e suas influências sobre o crescimento da cultura é de grande importância para o gerenciamento dos sistemas de produção, bem como auxiliam nas tomadas de decisão e alocação de recursos (ZHANG et al., 2019; CHENG et al., 2020).

#### 4.2. Momento ideal de colheita

As taxas de acúmulo de matéria seca da palma pode ser influenciada pelas mudanças fenológicas da cultura, impulsionadas pelo sistema de plantio adotado, e assim, interferir na antecipação e/ou prolongamento do ciclo da cultura (AMORIM et al., 2017). Descobrimos no presente ensaio que as maiores médias de taxas de acúmulo de matéria seca estão atreladas aos tratamentos ausentes de irrigação (Fig. 6), confirmando a ideia que o excesso de água nos sistemas de cultivo da palma forrageira altera o comportamento da planta (PEREIRA et al., 2015; DINIZ et al., 2017). Com isso pode-se afirmar que em anos com chuvas próximas da normal para a região em estudo não há necessidade de irrigação contínua, podendo adotar o uso de cobertura morta que apresenta bons resultados no cultivo da palma. Silva et al. (2017) enfatizam que em ambientes com média de chuva próximo aos 500 mm com boa distribuição ao longo de sete meses o fornecimento de água via irrigação torna-se desnecessário.

Notoriamente para os sistemas de cultivo cobertura-irrigação-clones e para o cobertura-consórcio os maiores valores de acúmulo de biomassa ocorreram após o pico de emissão de cladódios de secundários (Figs. 6 e 8), ao passo que os sistemas com diferentes lâminas de irrigação e diferentes níveis de cobertura sobre o solo tiveram maiores taxas de acúmulo de matéria seca anterior aos picos de emissões de cladódios de segunda ordem (Figs. 7 e 9). Esse fato indica a baixa contribuição no ganho de matéria seca por cladódios de ordens subsequentes aos secundários. Alves et al. (2007) estudando a palma forrageira no semiárido pernambucano, sob diferentes alturas de cortes, obtiveram maiores valores de matéria seca após a permanência dos cladódios secundários. Resultados semelhantes foram observados por Amorim et al. (2017), que enfatizam a contribuição dos cladódios de primeira e segunda ordem para o ganho de matéria seca em palma forrageira.

O momento de colheita ideal foi afetado pelo comportamento da taxa de acúmulo de matéria seca, em virtude dos diferentes sistemas de cultivos adotados (Figs. 6, 7, 8 e 9). Houve redução no tempo de permanência da cultura no campo em relação aos encontrados na literatura (i.e., 24 meses). O momento de colheita ideal pode colaborar para tomada de decisão aos

produtores, favorecendo a disponibilidade de forragem mais precoce, bem como possibilitando a retirada antecipada da cultura do campo, diminuindo os riscos inerentes a exposição prolongada ao ambiente (e.g. bióticos e abióticos) e custos de manutenção da cultura (e.g., tratamentos culturais, irrigação), mas, adequando-se as realidades de cada sistema de produção (ANDRADE-MONTEMAYOR et al., 2011; PERONDI et al., 2019; MORAES et al., 2019).

#### 4.3. Indicadores morfofisiológicos

As plantas de *Opuntia stricta* mostraram maiores ganhos em relação as de *Nopalea cochenillifera* (Figs. 10A, 10B e 10C). A alta taxa de mortalidade de plantas para os clones IPA e MIU (*Nopalea* sp.) podem afetar a produtividade de matéria seca (dados não mostrados), contribuindo para o baixos valores de TCA. Sales et al. (2009) e Silva et al. (2015a) relatam que plantas do gênero *Nopalea* apresentam mortalidade superior as *Opuntia*, dificultando e/ou reduzindo o estande de plantas. Observa-se que os diferentes sistemas de cultivo (irrigação-cobertura-clones) não apresentaram grandes distinções nas curvas de crescimento dos clones estudados (IPA, MIU e OEM). Esse fato é atribuído a grande plasticidade fenotípica da cultura, adaptando-se muito bem aos distintos ambientes impostos (SNYMAN, 2006). Diniz et al. (2017) observaram que lâminas de irrigação (355 e 1012 mm ano<sup>-1</sup>) não interferiram no ganho de biomassa fresca e seca da palma forrageira em ambiente semiárido.

Foram observados um tímido aumento de TCA para os sistemas que fizeram uso de cobertura morta sobre o solo. Esse fato está relacionado aos grandes benefícios desta, como reduzindo a amplitude térmica, melhorando a distribuição da umidade do solo (LIAO et al., 2021). A irrigação por gotejo em superfície nos períodos ausentes de chuva, limita o sistema radicular das plantas ao bulbo úmido, propiciando o desenvolvimento radicular nas camadas superiores do solo (ROWLAND; SMITH; TAYLOR, 2018), esse arranjo expõem as raízes a grande variação de temperatura do solo, favorecendo o estresse, provocando morte e/ou impossibilitando o crescimento, com consequência direta na absorção de nutrientes e no desenvolvimento das plantas (CENTENARO et al., 2018; LIAO et al., 2021).

A taxa de crescimento relativo (TCR) expressa o desempenho da planta em termos de ganhos de matéria seca por matéria seca preexistente por unidade de tempo (TAULYA et al., 2014). No presente estudo, houve maiores ganhos na TCR para plantas do gênero *Nopalea* quando comparadas com *Opuntia*, mostrando melhores desempenhos por unidade de massa preexistente. As plantas de *O. stricta* apresentaram menores valores de TCR devidamente por

terem alocado maiores recursos para produção de material de reserva (e.g., matéria seca), ao passo que, as plantas de *N. cochenillifera* investiram em estruturas, ou seja, maior emissão de cladódios (dados não mostrados). Tomlinson et al. (2014) exemplificam que a TCR é uma resposta notável que diferencia as estratégias das plantas em relação a alocação de recursos, ou seja, as espécies com elevadas taxas de crescimento são mais competitivas na aquisição de recursos, ao passo que, as espécies com baixas taxas de crescimento são mais conservadoras com os recursos limitados que obtiveram, sendo capazes de superar eventos de perturbação alocando recursos para armazenamento ao invés de crescimento.

A taxa de assimilação líquida exprime a eficiência fotossintética das folhas (JARAMA-OROZCO; COMBATT-CABALLERO; JARABA-NAVAS, 2020), assumindo-se para a palma a eficiência fotossintética dos cladódios. A palma *N. cochenillifera* (clone MIU) apresentou os maiores valores para a TAL (Fig. 10H) para os tratamentos que não fizeram uso de irrigação, esse fato pode ser atribuído as maiores taxas de emissões de cladódios (Figs. 2E, 2F, 2G e 2H) para esses sistemas, possibilitando uma maior área fotossintética. Pinheiro et al. (2014) estudando a palma forrageira, descobriram que há uma forte relação entre o número de cladódios de terceira e quarta ordem para a produção de matéria seca no clone MIU. Os demais clones (OEM e IPA) apresentaram comportamentos semelhantes. O declínio na TAL para ambas as espécies estudadas nos diferentes sistemas de cultivo podem estar relacionado ao autosombreamento da cultura dificultando a incidência luminosa nas partes inferiores da planta, responsável por maior assimilação de CO<sub>2</sub> (QUEIROZ et al., 2015).

A área de cladódios específica expressa a distribuição da matéria seca na superfície das folhas (e.g., cladódios). Inicialmente, as plantas em estudo apresentaram valores mais altos de ACE (Figs. 10J, 10K e 10L). Esse fato é decorrente de menor área dos cladódios em seus estádios iniciais de crescimento e rápido acúmulo de matéria seca, ao passo que estabilizam seu crescimento diminuindo a expansão da área dos cladódios e estabilizando o acúmulo de matéria seca os valores de ACE diminuem. Pinzón-Torres; Schiavinato (2008) relatam quem a área foliar específica (nosso caso ACE) apresenta relação inversa com a o acúmulo de matéria seca e direta com a TCR. No presente estudo pode-se constatar que alguns sistemas apresentaram tais respostas.

Para o sistema de cultivo sob diferentes lâminas de irrigação (Fig.11), observou-se tendência semelhante ao sistema cobertura-irrigação-clones (Fig. 10) em relação a TCA, com a espécie *O. stricta* (clone OEM) sobressaindo as plantas de *N. cochenillifera* (clones MIU e IPA). Esse fato pode ser atribuído a maior massa inicial para o clone OEM, uma vez que anterior

ao início dos tratamentos houve corte de uniformização preservando os cladódios primários, ao passo que, são os que mais contribuem para produção de fitomassa desse clone (QUEIROZ et al., 2015). O mesmo não foi observado para a taxa de crescimento relativo (Figs. 11D, 11E e 11F), mostrando que as plantas *N. cochenillifera* apresentam grande capacidade de ganho de matéria seca a partir de uma baixa fitomassa inicial, ao contrário do clone OEM. Esse fato foi encontrado para o sistema cobertura-irrigação-clones, reforçando a posição, espécies diferentes apresentam comportamentos distintos em relação a alocação de recursos mesmo sob as mesmas condições de cultivo (TOMLINSON et al., 2014).

A taxa de assimilação líquida para o sistema sob diferentes lâminas de irrigação (Fig. 11) apresentou os maiores valores no início do ciclo, no momento, encontravam-se apenas os cladódios primários nas plantas em estudo, após a retomada das taxas de emissões de cladódios de ordens superiores, houve declínio na TAL, podendo ser atribuído a elevação nos índices de área do cladódio, resultando no sombreamento dos cladódios inferiores da própria planta e de plantas vizinhas (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; QUEIROZ et al., 2015), proporcionado pelo sistema de cultivo adensado. Essa redução na TAL também pode ser relacionada a inversão as respostas fisiológicas das plantas, com redução da fotossíntese e aumento na respiração (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; IRALU; UPADHAYA, 2018).

A área do cladódio específica foi menor para a espécie *O. stricta* quando comparadas as plantas de *N. cochenillifera* (Figs. 11J, 11K e 11L). Esse fato pode ser explicado pelas elevadas taxas de acúmulo de fitomassa (Fig. 7) no período correspondente ao estágio fenológico um (Fig. 3) em que apresentava baixa emissão de cladódios promovendo baixo incremento de área foliar, resultando em baixa ACE. No tratamento MIU-Sequeiro observa-se essa relação claramente, onde ocorre baixo ganho de fitomassa ao passo que a ACE são bem expressivos. (PINZÓN-TORRES; SCHIAVINATO, 2008) faz referência a relação inversa entre área foliar específica e acúmulo de biomassa das plantas.

Quando observado as lâminas de irrigação, independente da espécie estudada (Fig. 11), nota-se que a proporção de 120% da evapotranspiração da cultura apresentou os mais baixos desempenhos nos índices morfológicos e fisiológicos (TCA, TCR e TAL). Evidenciando que o excesso de água diminui a performance do crescimento e desenvolvimento da palma forrageira. Queiroz et al. (2015) encontraram reduzidos ganhos de crescimento da palma forrageira com o aumento das lâminas de irrigação em ambiente semiárido, no entanto esses mesmos autores encontraram maiores ganhos do que plantas cultivadas em sequeiro. O excesso de água em plantas pode acarretar em altas taxas de mortalidade, baixo desenvolvimento do sistema

radicular, inibição do crescimento e baixos índices de área foliar, promovendo baixa produção de fitomassa (ZAIDI; RAFIQUE; SINGH, 2003).

O sistema de produção consorcio-cobertura apresentou variação na velocidade de ganho de biomassa por unidade de área no tempo (Fig. 12A) para os diferentes sistemas aplicados. Os sistemas de cultivo com uso de cobertura morta apresentaram antecipação nas TCA em relação aos cultivos com solo exposto. Tal acontecimento pode ser atribuído a melhoria das condições de cultivo com o uso dessa prática, como melhor distribuição e conservação da umidade no solo, redução da temperatura e estimulando a biologia do solo (YANG et al., 2020). Pode-se observar que para os sistemas sem cobertura morta a palma retardou a TCA. As maiores contribuições da taxa de crescimento absoluto foram encontradas dentro do estágio fenológico dois (Fig. 4).

A taxa de crescimento relativo mostrou diferença entre os sistemas consorciados e o exclusivo (Fig. 12B). Os sistemas de cultivo exclusivo apresentaram maior desempenho em ganho de fitomassa por unidade de fitomassa existente por tempo em comparação aos cultivos consorciados. A ausência de competitividade interespecífica possibilita um melhor aproveitamento dos recursos biofísicos, com reflexos no máximo crescimento da cultura. Diniz et al. (2017) estudando o clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em sistema consorciado com sorgo em clima semiárido sob irrigação, encontraram redução na produção de biomassa da palma quando comparado ao cultivo da palma exclusiva. Amorim et al. (2017) estudando o mesmo clone de palma forrageira (OEM) enfatizam que o consórcio promove competição por água e luz, retardando o desenvolvimento da cultura.

A taxa de assimilação líquida apresentou variação entre os sistemas de cultivo consórcio-cobertura (Fig. 12C). A redução acentuada na TAL para o tratamento consorciado palma-milheto sem cobertura pode ser inferido ao sombreamento proporcional ao desenvolvimento do milho. Para o sistema análogo que fez uso de cobertura morta, a TAL apresentou-se bastante reduzida, todavia, os benefícios da cobertura morta proporcionaram maior desenvolvimento do milho, provocando maior interceptação da luz. As taxas de assimilação líquida para os diferentes sistemas de cultivo foram observadas durante ou após as máximas taxas de emissão de cladódios de segunda ordem (Fig. 4), demonstrando que as estruturas secundárias da espécie *O. stricta* apresentam maior capacidade de assimilação líquida.

Para a área do cladódio específica observou comportamentos semelhantes para todos os sistemas de produção (Fig. 12D), exceto para o sistema P-CC, esse fato está relacionado a

elevada taxa de emissão de cladódios secundários (Fig. 4A), o que possibilitou rápido ganho de área foliar e baixa produção de matéria seca, ou seja, baixos valores de TAL. Ao passo que a TAL aumentou proporcionando maior acúmulo de matéria seca e a área foliar estabiliza próximo aos 600 °Cdia ocorre a redução e estabilização da ACE.

No sistema de cultivo sob diferentes níveis de cobertura morta sobre o solo (Fig. 13), foi constatado que as TCA desempenharam as mesmas tendências, no entanto, o incremento da cobertura contribuiu para maximização da velocidade de ganho de fitomassa por unidade de área pela cultura (*O. stricta*). O mesmo foi observado para as demais taxas (TCR e TAL), com plantas apresentando maior eficiência morfológica e fisiológica, respectivamente, à medida que foi incrementado maior quantidade de palhada sobre o solo. A palhada protege contra a incidência direta da radiação solar sobre o solo, melhorando a amplitude térmica e promovendo menor flutuação da umidade do solo, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. A quantidade de palhada no solo é de grande importância para proporcionar tais benefícios, uma vez que, baixas quantidades de resíduo não promovem a cobertura total da área (PEREIRA; MOREIRA; KLAR, 2002). Os mesmos autores ressaltam que é necessário valores superiores a 7,0 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca para cobertura total da superfície do solo.

Para a ACE, observa-se que os maiores volumes de palhada (10,0 e 15,0 Mg ha<sup>-1</sup>) não apresentaram alterações durante o período experimental, mostrando um equilíbrio entre a assimila líquida, produção de matéria seca e expansão dos cladódios, ao passo que as plantas referentes aos tratamentos de 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> e No-mulch apresentaram valores iniciais reduzidos com leve aumento ao término de ensaio. Esse fato pode ser explicado pela redução da taxa de assimilação líquida (Fig. 13C), diminuindo o acúmulo de matéria seca (Fig. 9A) e retomando a taxa de emissão de cladódios de primeira ordem dentro do estágio fenológico dois (Fig. 5A), acarretando e maiores índices de área foliar.

Os indicadores morfofisiológicos exprimem a relação planta-ambiente, as alterações morfológicas e fisiológicas em resposta as condições impostas. Esse feedback auxilia na verificação adaptativa das plantas aos distintos ambientes, competição interespecífica e as consequências do sistema de manejo (ALVAREZ; CRUSCIOL; NASCENTE, 2012).

## 5. Conclusões

As características fenológicas da palma (*Opuntia* e *Nopalea*) foram afetadas pelos diferentes sistemas de cultivo. Quando impostas ao sistema cobertura-lâminas-clones as plantas

de *Nopalea* apresentaram sensibilidade aos sistemas irrigado, reduzindo as taxas de emissão de cladódios. O uso de cobertura morta inferiu maiores taxas de emissão de cladódios para a espécie *Opuntia stricta*, além de possibilitar avanço no estágio fenológico. Os indicadores morfofisiológicos apresentaram maiores respostas as espécies do que aos sistemas de cultivo. Independentemente do sistema de manejo adotado e da espécie utilizada, o momento de colheita foi antecipado.

Dentro do sistema lâminas de irrigação, os clones de palma apresentaram respostas negativas ao excesso de água, com estabilização nas taxas de emissões de cladódios primários e secundários. As lâminas de irrigação não alteraram os estádios fenológicos das culturas. Os indicadores de crescimento foram mais influenciados pelas culturas em relação as lâminas. De maneira geral a lâmina de irrigação de 120% da evapotranspiração da cultura apresentou os mais baixos desempenhos das culturas. A lâmina de 40% e 80% da ETc promoveu os melhores resultados para as plantas de *Nopalea*. O momento de colheita foi bastante influenciado pelas lâminas com elevada antecipação para a lâmina de 120% da ETc.

Para o sistema consócio-cobertura, a cobertura morta para o cultivo exclusivo da palma promoveu o melhor desenvolvimento fenológico. A consorciação de *O. stricta* com o *Pennisetum glaucum* reduz a emissão de cladódios de primeira e segunda ordem, porém os tratamentos não afetaram a duração dos estádios fenológicos. As taxas de crescimento foram bastante influenciadas pelos tratamentos. O cultivo sem uso de cobertura morta retarda as respostas das taxas. O acúmulo de matéria seca também foi influenciado pelo o uso de cobertura, apresentando o menor tempo térmico acumulado para a colheita.

Foi constatado para o sistema de cultivo com diferentes níveis de cobertura morta, que o incremento na quantidade de palhada promoveu a emissão de cladódios terciários, porem reduziram as taxas dos cladódios de segunda ordem. Os indicadores morfofisiológicos foram afetados positivamente com o aumento dos níveis de cobertura. No entanto, não apresentaram distinções ao momento de colheita, mesmo assim, mostraram antecipações similares.

De forma geral a espécie *O. stricta* mostrou respostas satisfatórias ao uso de cobertura morta, independentemente do volume de água recebido, mas apresentou sensibilidade a grandes volumes de água quando não foi utilizado a cobertura morta. As plantas de *Nopalea* não responderam de forma satisfatória ao uso de cobertura morta e mostraram menores desempenhos nos sistemas com elevado volume de água.

## 6. Referências

- ALLEN, R. G.; S, P. L.; RAES, D.; MARTIN, S. Crop evapotranspiration : Guidelines for computing crop water requirements. **FAO irrigation and drainage paper: 56**, p. 1–15, 1998.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVAREZ, R. de C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S. Análise de crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 42, n. 4, p. 397–406, 2012.
- ALVES, R. N.; FARIAS, I.; MENEZES, R. S. C.; LIRA, M. de An.; SANTOS, D. C. dos. Produção de forragem pela palma após 19 anos sob diferentes intencidades de corte e espaçamentos. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 38–44, 2007.
- AMARO, J. A. P.; MOYA, G. E.; QUIROZ, E. J. F.; CARRILLO, Q. A. R.; PÉREZ, P. J.; GARAY, H. A. Análisis de crecimiento , área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “ mulato ” (Brachiaria híbrido , cv.). **Tec Pecu Mex**, v. 42, n. 3, p. 447–458, 2004.
- AMORIM, D. M.; FREIRE DA SILVA, T. G.; DE, P.; PEREIRA, C.; BASTOS DE SOUZA, L. S.; MINUZZI, R. B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Agropec. Trop**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.
- ANDRADE-MONTEMAYOR, H. M.; CORDOVA-TORRES, A. V.; GARCÍA-GASCA, T.; KAWAS, J. R. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (Prosopis laevigata spp.) and Nopal (Opuntia spp.). **Small Ruminant Research**, v. 98, n. 1–3, p. 83–92, 2011.
- BALAINÉ, L.; DILLON, E. J.; LÄPPLE, D.; LYNCH, J. Can technology help achieve sustainable intensification? Evidence from milk recording on Irish dairy farms. **Land Use Policy**, v. 92, n. January, p. 104437, 2020.
- BOLZAN, A. M. S.; BONNET, O. J. F.; WALLAU, M. O.; BASSO, C.; NEVES, A. P.; CARVALHO, P. C. de F. Foraging Behavior Development of Foals in Natural Grassland. **Rangeland Ecology and Management**, v. 73, n. 2, p. 243–251, 2020.

- BREWER, K. M.; GAUDIN, A. C. M. Potential of crop-livestock integration to enhance carbon sequestration and agroecosystem functioning in semi-arid croplands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 149, n. February, 2020.
- CARVALHO, A. A. De; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B. De; MOURA, M. S. B. De; ARAUJO, G. G. L. De; TOLÊDO, M. P. S. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Soil moisture in forage cactus plantations with improvement practices for their resilience Umidade do solo em lavouras de palma forrageira com práticas de melhoria da sua resiliência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 481–487, 2017.
- CENTENARO, G.; HUDEK, C.; ZANELLA, A.; CRIVELLARO, A. Root-soil physical and biotic interactions with a focus on tree root systems: A review. **Applied Soil Ecology**, v. 123, n. 1, p. 318–327, 2018.
- CHENG, Y.; VRIELING, A.; FAVA, F.; MERONI, M.; MARSHALL, M.; GACHOKI, S. Phenology of short vegetation cycles in a Kenyan rangeland from PlanetScope and Sentinel-2. **Remote Sensing of Environment**, v. 248, n. July, p. 112004, 2020.
- COELLO, J.; AMEZTEGUI, A.; ROVIRA, P.; FUENTES, C.; PIQUÉ, M. Innovative soil conditioners and mulches for forest restoration in semiarid conditions in northeast Spain. **Ecological Engineering**, v. 118, n. March, p. 52–65, 2018.
- DASS, A.; BHATTACHARYYA, R. Wheat residue mulch and anti-transpirants improve productivity and quality of rainfed soybean in semi-arid north-Indian plains. **Field Crops Research**, v. 210, n. April, p. 9–19, 2017.
- DINIZ, W. J. da S.; DA SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. da S.; DOS SANTOS, D. C.; DE MOURA, M. S. B.; DE ARAÚJO, G. G. L.; ZOLNIER, S. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 724–733, 2017.
- FERNER, J.; SCHMIDTLEIN, S.; GUUROH, R. T.; LOPATIN, J.; LINSTÄDTER, A. Disentangling effects of climate and land-use change on West African drylands' forage supply. **Global Environmental Change**, v. 53, n. August, p. 24–38, 2018.
- FLORES-HERNÁNDEZ, A.; ORONA-CASTILLO, I.; MURILLO-AMADOR, B.; GARCIA-HERNANDEZ, J. L.; TROYO-DIEGUEZ, E. Yield and physiological traits of

prickly pear cactus “nopal” (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 70, n. 2, p. 97–107, 2004.

GAO, H.; YAN, C.; LIU, Q.; LI, Z.; YANG, X.; QI, R. Exploring optimal soil mulching to enhance yield and water use efficiency in maize cropping in China: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 225, n. August, p. 105741, 2019.

HUANG, C.; LIU, Q.; LI, H.; LI, X.; ZHANG, C.; ZHANG, F. Optimised sowing date enhances crop resilience towards size-asymmetric competition and reduces the yield difference between intercropped and sole maize. **Field Crops Research**, v. 217, n. 2, p. 125–133, 2018.

HUANG, Z.; DUNKERLEY, D.; LÓPEZ-VICENTE, M.; WU, G. L. Trade-offs of dryland forage production and soil water consumption in a semi-arid area. **Agricultural Water Management**, v. 241, n. 26, p. 106349, 2020.

IRALU, V.; UPADHAYA, K. Relative growth rate, biomass partitioning and nutrient allocation in seedlings of two threatened trees grown under different light conditions. **Acta Ecologica Sinica**, v. 38, n. 6, p. 450–459, 2018.

JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B. De; SOUZA, M. D. S.; MORAIS, J. E. F. De; JÚNIOR, N. A. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 24, n. 11, p. 756–761, 2020.

JARMA-OROZCO, A.; COMBATT-CABALLERO, E.; JARABA-NAVAS, J. Growth and development of *Stevia rebaudiana* Bert., in high and low levels of radiation. **Current Plant Biology**, v. 22, n. February, p. 100144, 2020.

LI, H.; ZHAO, X.; GAO, X.; REN, K.; WU, P. Effects of water collection and mulching combinations on water infiltration and consumption in a semiarid rainfed orchard. **Journal of Hydrology**, v. 558, p. 432–441, 2018 a.

LI, Q.; LI, H.; ZHANG, L.; ZHANG, S.; CHEN, Y. Mulching improves yield and water-use efficiency of potato cropping in China: A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 221, n. September 2017, p. 50–60, 2018 b.

LIAO, Y.; CAO, H. X.; XUE, W. K.; LIU, X. Effects of the combination of mulching and deficit irrigation on the soil water and heat, growth and productivity of apples. **Agricultural**

**Water Management**, v. 243, n. 26, p. 106482, 2021.

LIGUORI, G.; INGLESE, G.; PERNICE, F.; SORTINO, G.; INGLESE, P. CO<sub>2</sub> uptake of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. whole trees and single cladodes, in relation to plant water status and cladode age. **Italian Journal of Agronomy**, v. 8, n. 1, p. 3, 2013.

LIMA, L. R.; DA SILVA, T. G. F.; JARDIM, A. M. d. R. F.; DE SOUZA, C. A. A.; DE QUEIROZ, M. G.; TABOSA, J. N. 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.

LIU, Z.; ZHU, K.; DONG, S.; LIU, P.; ZHAO, B.; ZHANG, J. Effects of integrated agronomic practices management on root growth and development of summer maize. **European Journal of Agronomy**, v. 84, p. 140–151, 2017.

LÓPEZ-URREA, R.; SÁNCHEZ, J. M.; MONTORO, A.; MAÑAS, F.; INTRIGLIOLO, D. S. Effect of using pruning waste as an organic mulching on a drip-irrigated vineyard evapotranspiration under a semi-arid climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 291, n. June, p. 108064, 2020.

MORAES, G. S. de O.; GUIM, A.; TABOSA, J. N.; CHAGAS, J. C. C.; ALMEIDA, M. de P.; FERREIRA, M. de A. 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. January, p. 133–138, 2019.

OLIVEIRA, F. T. de; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P. da; FILHO, F. C. de A.; JÚNIOR, E. B. P. Palma Forrageira: Adaptação E Importância Para Os Ecossistemas Áridos E Semiáridos. **Revista Verde**, v. 5, n. 4, p. 27–37, 2010.

PEREIRA, A. L.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E. Efeito de níveis de cobertura do solo sobre a manejo da irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* J.). **Revista Irriga**, v. 7, n. 1, p. 42–52, 2002.

PEREIRA, P. de C.; FREIRE, G.; SILVA, D. A.; ZOLNIER, S.; EDSON, J.; DE MORAIS, F.; CORDEIRO, D.; SANTOS, D. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejo. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184–195, 2015.

PERONDI, D.; FRAISSE, C. W.; STAUB, C. G.; CERBARO, V. A.; BARRETO, D. D.; PEQUENO, D. N. L.; MULVANEY, M. J.; TROY, P.; PAVAN, W. Crop season planning

tool: Adjusting sowing decisions to reduce the risk of extreme weather events. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 156, n. April 2018, p. 62–70, 2019.

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F.; CARVALHO, H. F. de S.; EVERTON OLIVEIRA SANTOS, J.; MORAIS, J. E. F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. **Pesq. agropec. bras**, v. 49, n. 12, p. 939–947, 2014.

PINZÓN-TORRES, J. A.; SCHIAVINATO, M. A. Crescimento, eficiência fotossintética e eficiência do uso da água em quatro espécies de leguminosas arbóreas tropicais. **Hoehnea**, v. 35, n. 3, p. 395–404, 2008.

POMMERENING, A.; MUSZTA, A. Relative plant growth revisited: Towards a mathematical standardisation of separate approaches. **Ecological Modelling**, v. 320, p. 383–392, 2016.

QUEIROZ, M. G. de; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. e; LIMA, L. R.; ALVES, J. de O. 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.

ROWLAND, L. S.; SMITH, H. K.; TAYLOR, G. The potential to improve culinary herb crop quality with deficit irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 242, n. May, p. 44–50, 2018.

SALES, A. T.; ANDRADE, A. P. De; SILVA, D. S. Da; LEITE, M. L. D. M. V.; VIANA, B. L.; LEÓN, M. J.; SOLÍS, A. M. Adaptation potential of cactus pear to soil and climatic conditions of the semi-arid in Paraíba State, Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 811, p. 395–400, 2009.

SILVA, T. G. F. da; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MORAIS, J. E. F. de; DINIZ, W. J. da S.; SOUZA, C. A. A. de; SILVA, M. da C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10–18, 2015 a.

SILVA, T. G. F. da; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. M. S. e; MORAIS, J. E. F. de; PEREIRA, P. de C.; SOUZA, C. A. A. de. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515–525, 2015 b.

- SILVA, T. G. F. da; ZONIER, S.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G.; MOURA, C. R. W.; MUNIZ, M. A. 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, G. dos S.; OLIVEIRA, R. A. de; QUEIROZ, N. L.; SILVA, M. N. B. da; SOUSA, M. F. de; SILVA, S. A. da. Desempenho agrônomo de algodão orgânico e oleaginosas consorciados com palma forrageira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 975–981, 2013.
- SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. de A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 11, p. 2064–2071, 2014 a.
- SILVA, T. G. F.; ARAÚJO, G. G. L.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B. Agrometeorological research on forage cactus and its advances in Brazil. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 2, n. 1, p. 45–68, 2017.
- SILVA, T. G. F.; MIRANDA, K. R.; SANTOS, D. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, M. C.; CRUZ NETO, J. F.; ARAÚJO, J. E. M. Área Do Cladódio De Clones De Palma Forrageira: Modelagem, Análise E Aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633–641, 2014 b.
- SNYMAN, H. A. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. **Journal of Arid Environments**, v. 65, n. 4, p. 529–542, 2006.
- TAULYA, G.; VAN ASTEN, P. J. A.; LEFFELAAR, P. A.; GILLER, K. E. Phenological development of East African highland banana involves trade-offs between physiological age and chronological age. **European Journal of Agronomy**, v. 60, p. 41–53, 2014.
- TOMLINSON, K. W.; POORTER, L.; BONGERS, F.; BORGHETTI, F.; JACOBS, L.; VAN LANGEVELDE, F. Relative growth rate variation of evergreen and deciduous savanna tree species is driven by different traits. **Annals of Botany**, v. 114, n. 2, p. 315–324, 2014.
- TOOROP, R. A.; LOPEZ-RIDAURA, S.; BIJARNIYA, D.; KALAWANTAWANIT, E.; JAT, R. K.; PRUSTY, A. K.; JAT, M. L.; GROOT, J. C. J. Farm-level exploration of economic and environmental impacts of sustainable intensification of rice-wheat cropping systems in the Eastern Indo-Gangetic plains. **European Journal of Agronomy**, v. 121, n.

August, p. 126157, 2020.

WANG, Y.; LI, S.; QIN, S.; GUO, H.; YANG, D.; LAM, H. M. How can drip irrigation save water and reduce evapotranspiration compared to border irrigation in arid regions in northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 239, n. December 2019, p. 106256, 2020.

YANG, H.; WU, G.; MO, P.; CHEN, S.; WANG, S.; XIAO, Y.; MA, H. ang; WEN, T.; GUO, X.; FAN, G. The combined effects of maize straw mulch and no-tillage on grain yield and water and nitrogen use efficiency of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Soil and Tillage Research**, v. 197, n. November 2019, p. 104485, 2020.

ZAIDI, P. H.; RAFIQUE, S.; SINGH, N. N. Response of maize (*Zea mays* L.) genotypes to excess soil moisture stress: Morpho-physiological effects and basis of tolerance. **European Journal of Agronomy**, v. 19, n. 3, p. 383–399, 2003.

ZHANG, D. *et al.* Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping. **Field Crops Research**, v. 257, n. July, p. 107926, 2020 a.

ZHANG, Z.; LI, X.; LIU, L.; WANG, Y.; LI, Y. Influence of mulched drip irrigation on landscape scale evapotranspiration from farmland in an arid area. **Agricultural Water Management**, v. 230, n. November 2019, p. 105953, 2020 b.

ZHANG, Z.; YU, K.; SIDDIQUE, K. H. M.; NAN, Z. Phenology and sowing time affect water use in four warm-season annual grasses under a semi-arid environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 269–270, n. 768, p. 257–269, 2019.

ZHENG, J.; FAN, J.; ZHANG, F.; ZHUANG, Q. Evapotranspiration partitioning and water productivity of rainfed maize under contrasting mulching conditions in Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 243, n. March 2020, p. 106473, 2021.

### **CAPÍTULO III**

---

## **MANEJO INTEGRADO DE PRÁTICAS AGRONÔMICAS: MAXIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E RENTABILIDADE ECONÔMICA DA PALMA FORRAGEIRA**

## Resumo

Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo: 1) cobertura-irrigação-clones; 2) lâminas de irrigação; 3) consórcio-cobertura e; 4) níveis de cobertura morta na produtividade, eficiência biológica e no retorno econômico de clones de palma forrageira. O experimento foi realizado no semiárido brasileiro, avaliando quatro áreas de cultivo: 1) cobertura-irrigação-clones, 2) lâminas de irrigação, 3) consórcio-cobertura, 4) níveis de cobertura morta, todos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos da área 1 consistiram em três clones de palma (Orelha de Elefante Mexicana – OEM; Miúda – MIU e IPA-Sertânia – IPA), dois níveis de disponibilidade hídrica (sequeiro e irrigado) e dois níveis de cobertura morta (sem e com). A área 2 foi constituída de quatro lâminas de irrigação (0, 40, 80 e 120% da evapotranspiração da cultura) e três clones de palma (OEM, MIU e IPA). A área 3 foi avaliado três sistemas de plantio, palma exclusiva, consorciada com milho e milho exclusivo em dois níveis de cobertura (sem e com). Na área 4 foi utilizado quatro níveis de cobertura morta (0, 5, 10 e 15Mg). O número total de cladódios por planta, rendimento de matéria fresca e seca, bem como a densidade final de plantas foram obtidos na colheita. A viabilidade econômica foi avaliada usando o valor presente líquido, taxa interna de retorno e índice de lucratividade. Os sistemas em sequeiro apresentaram maior produtividade para os clones avaliados dentro da área 1. A cobertura morta promoveu maior produtividade. O clone OEM apresentou rendimento superior aos clones IPA e MIU. Esses mesmos clones apresentaram maior taxa de mortalidade de plantas (TMP) em comparação ao OEM, os maiores retornos econômico foi alcançado nos sistemas em sequeiro. Dentro da área 2 as lâminas de irrigação não afetaram o rendimento dos clones OEM, MIU e IPA. O clone OEM apresentou maior produtividade e menor TMP em relação as plantas de *Nopalea*. Os clones MIU e IPA apresentaram os menores valores rentabilidade. No cultivo consórcio-cobertura os maiores rendimentos foram alcançados pelo consórcio. O milho apresentou inviabilidade econômica, sendo o consórcio palma-milho o melhor retorno económico. Dentro da área 4, a produtividade apresentou comportamento linear crescente quando aumenta o nível de cobertura morta. O sistema com 15,0 Mg ha<sup>-1</sup> apresentou as maior valor presente líquido. Pode-se concluir que o manejo integrado de práticas agrônômicas como consórcio, cobertura morta e o clone OEM elevam a o rendimento do sistema e o retorno econômico.

Palavras-chave: *Opuntia*; *Nopalea*; habilidade competitiva, valor presente líquido

# INTEGRATED MANAGEMENT OF AGRONOMIC PRACTICES: MAXIMIZING PRODUCTIVITY AND ECONOMIC PROFITABILITY OF THE FORAGE CACTUS

## Abstract

The objective was to evaluate the effect of different cultivation systems: 1) mulch-irrigation-clones; 2) irrigation depths; 3) intercropping-mulching and; 4) levels of mulch in productivity, biological efficiency, and economic return of forage cactus clones. The experiment was carried out in the Brazilian semi-arid region, evaluating four cultivation areas: 1) mulch-irrigation-clones, 2) irrigation depths, 3) intercropping-mulching, 4) levels of mulch, all in randomized block design with four replications. The treatments in area 1 consisted of three cactus clones (Orelha de Elefante Mexicana - OEM; Miúda - MIU and IPA-Sertânia - IPA), two levels of water availability (rainfed and irrigated), and two levels of mulch (with and without). Area 2 consisted of four irrigation depths (0, 40, 80, and 120% of the crop evapotranspiration) and three cactus clones (OEM, MIU, and IPA). Area 3 was evaluated with three planting systems, single cactus, intercropping with millet, and single millet in two mulched levels (without and with). In area 4, four levels of mulch were used (0, 5, 10, and 15 Mg ha<sup>-1</sup>). The total number of cladodes per plant, yield of fresh and dry matter, as well as the final density of plants were obtained at harvest. Economic viability was assessed using the net present value, internal rate of return, and profitability index. The rainfed systems showed higher productivity for the clones evaluated within area 1. The mulch promoted higher productivity. The OEM clone showed a higher yield than the IPA and MIU clones. These same clones showed a higher plant mortality rate (PMR) compared to the OEM, the highest economic returns were achieved in rainfed systems. Within area 2, the irrigation depths did not affect the yield of the OEM, MIU, and IPA clones. The OEM clone showed higher productivity and lower PMR compared to *Nopalea* plants. The MIU and IPA clones showed the lowest profitability values. In intercropping-mulching cultivation, the highest yields were achieved by the intercropping. Millet was not economically viable, with the cactus-millet intercropping being the best economic return. Within area 4, productivity presented an increasing linear behavior when the level of mulch increases. The 15.0 Mg ha<sup>-1</sup> system showed the highest net present value. It can be concluded that the integrated management of agronomic practices such as intercropping, mulch, and the OEM clone increases the system's yield and economic return.

Keywords: *Opuntia*; *Nopalea*; competitive ability; net present value

## 1. Introdução

A expectativa é que a população mundial aumente para mais de 9,5 bilhões de pessoas em meados do século XXI, com os países em desenvolvimento contribuindo com aproximadamente metade desse montante. Conseqüentemente, a busca por alimentos de origem animal aumentará, principalmente pela elevação da renda per capita nesses países (BATEKI; CADISCH; DICKHOEFER, 2019). Essas condições, juntamente com as perspectivas de mudanças climáticas, com aumento da sazonalidade das chuvas e redução na disponibilidade de água nos sistemas de produção das regiões secas em desenvolvimento, desencadeará exacerbada pressão nos sistemas agroambientais (NDIRITU, 2020).

O semiárido brasileiro é notoriamente enquadrado dentro dessa zona de risco, agravando-se mais com a interferência antropogênica, com o uso e ocupação indevido da terra, levando a fortes impactos socioambientais (SILVA et al., 2020). No entanto, essa região apresenta grande capacidade agropecuária, tendo forte impacto na cadeia produtiva brasileira, detendo os maiores rebanhos de caprinos e ovinos, onde a demanda ainda supera a oferta (NUNES; BENNETT; MARQUES, 2014). Porém, a pecuária nessa região, praticada muitas vezes de forma extensiva, apresenta grande vulnerabilidade a flutuação anual da oferta de pastagem, que acompanha a sazonalidade das chuvas, limitando o desempenho zootécnico dos animais e reduzindo a oferta de proteína animal (MORAES et al., 2019).

Diante de tais indagações, alcançar a estabilidade forrageira, afim de melhorar a produção de gado nessas áreas é de grande importância, contribuindo para a segurança alimentar das pequenas e médias fazendas, bem como para a geração de renda, de forma a minimizar os impactos socioambientais gerados pelo setor (VIEIRA et al., 2015; MORAES et al., 2019). Nesse sentido, o manejo integrado de práticas agrícolas para aumentar a oferta de forragem ao longo do ano faz-se necessário. A utilização de plantas tolerantes ao ambiente estressor, como cactáceas e graminhas, uso de sistemas de cultivos melhorados com a consorciação de culturas, irrigação e adoção de cobertura morta de palha sobre o solo podem contribuir para tais objetivos (SANTOS et al., 2017; MARTINS et al., 2018).

A palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) é uma cactácea amplamente utilizado em diversos ambientes semiáridos, como componente chave dos sistemas de produção agropecuário, para a disposição de forragem em períodos de deficit. Isso é possível devido as

características anatômicas e fisiológicas, como o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), que possibilita a captura de CO<sub>2</sub> no período noturno evitando grandes perdas de água pela transpiração, com alta eficiência no uso da água em relação as culturas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, apresentando bons rendimentos frente as limitações do ambiente (AMORIM et al., 2017; CARDOSO et al., 2019). Todavia, frente a grande importância da cultura para o desenvolvimento e na geração de renda das propriedades da região, os estudos apresentados são limitados. Havendo assim a necessidade de explorar múltiplos sistemas de cultivo com essa cultura.

Assim, nossa hipótese é que a palma forrageira responderá de forma positiva aos diferentes sistemas de produção, maximizando o seu rendimento e aumentando o retorno econômico das áreas produtoras. Com isso, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo: 1) cobertura-irrigação-clones; 2) lâminas de irrigação; 3) consórcio-cobertura e; 4) níveis de cobertura morta na produtividade, eficiência biológica e no retorno econômico de clones de palma forrageira.

## **2. Material e métodos**

### **2.1. Área de estudo: condições edafoclimáticas**

A pesquisa foi conduzida em campo, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, PE (latitude 7°59' Sul; longitude 38°15' Oeste e altitude 431 m) no “*Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras*”. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BShw', com precipitação pluvial concentrada no verão e demais estações, secas (ALVARES *et al.*, 2013), com chuva média de 642,1 mm ano<sup>-1</sup>, umidade relativa do ar próximo de 62%, com temperatura média do ar variando de 20,1 à 32,9 °C, resultando em um balanço hídrico negativo para a maioria dos meses do ano (PEREIRA et al., 2015; SILVA et al., 2015b).

O estudo foi conduzido em um solo classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico, cujas características físico-químicas estão dispostas da Tabela 1.

**Tabela 1.** Características físico-químicas de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico da área experimental.

Propriedades físicas do solo											
Profundidade	$\rho$	$\rho_s$	$\emptyset$	Areia			Silte		Argila		
--- m ---	g cm <sup>-3</sup>	---	%	----- g kg <sup>-1</sup> -----							
0,0 - 0,20	1,58	2,48	35,8	831,85			123,6		44,55		
Propriedades químicas do solo											
Profundidade	C.E	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V
--- m ---	dS m <sup>-1</sup>	-	mg dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			-----				%
0,0 - 0,20	0,69	6,8	72,31	1,01	0,03	4,25	1,9	0,0	0,6	7,8	92,35

$\rho$  - densidade do solo;  $\rho_s$  - densidade dos sólidos;  $\emptyset$  - porosidade total; C.E - condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; CTC - capacidade de troca de cátions; V - saturação de bases.

## 2.2. Material vegetal e condições de cultivo

O estudo foi dividido em quatro áreas, os quais foram particionados em: Áreas 1, 2, 3 e 4. Configurando-se múltiplos sistemas de cultivo com cactos forrageiro (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) e uma gramínea (*Pennisetum glaucum*). Todas às áreas foram cultivadas em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e quatro linhas de cultivo. As diferentes áreas compartilharam do mesmo preparo de mecanização do solo (i.e., aração, gradagem e sulcagem). Frequentemente foram realizados tratos culturais para manutenção de todas as áreas, afim de proporcionar condição adequadas de cultivo.

### 2.2.1. Área 1: cobertura-irrigação-clones

Os materiais vegetais utilizados foram três clones de palma forrageira: Orelha de Elefante mexicano - OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.); IPA Sertânia - IPA; e Miúda - MIU (ambas, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck). Os clones foram avaliados no período de janeiro de 2017 a julho de 2018 (i.e., início dos tratamentos e colheita, respectivamente). Os tratamentos aplicados em esquema fatorial 3 x 2 x 2, combinado os três clones de palma a dois níveis de disponibilidade hídrica e dois níveis de mulch. Os níveis de água disponíveis foram irrigados com 100% da ETc e sem irrigação, já o mulch consistiu em 18 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada de *Urochloa mosambicensis* (with mulch, WM) e solo exposto (no-mulch, NM), sem reposição do material sobre o solo.

A área de cultivo foi composta por parcelas de 20 m<sup>2</sup>, apresentando espaçamento entre linhas de 1,00 x 0,20 m, totalizando um estande de 50,0 mil plantas por hectare. A área foi

adubada com base na formulação 14-00-18+16S, com aplicação de 525 kg ha<sup>-1</sup>. As condições meteorológicas do período experimental encontra-se na Fig. 1 e Tabela 2.

### 2.2.2. Área 2: níveis de irrigação

Os clones Orelha de Elefante Mexicana, IPA Sertânia e Miúda, foram avaliados entre março de 2019 e maio de 2020. Foram dispostos em esquema fatorial 4 x 3, com parcelas subdivididas. As parcelas experimentais foram formadas por três regimes hídricos, baseadas no fracionamento da evapotranspiração da cultura - ETc, com lâminas de 40, 80 e 120%, mais a condição de sequeiro (0% da ETc) e as subparcelas compostas pelos diferentes clones de palma. As parcelas experimentais dispuseram de 60 m<sup>2</sup>, já as subparcelas possuíam área de 20 m<sup>2</sup>, com um espaçamento de 1,0 x 0,20 m entre fileiras e plantas, respectivamente (i.e., totalizando 50,0 mil plantas por hectare). Os dados meteorológicos do período em estudo estão dispostos na Fig. 1 e Tabela 2.

### 2.2.3. Área 3: consórcio-cobertura

No presente estudo foram utilizados, a palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicano e o milho, cultivar IPA Bulk-1-BF (*P. glaucum* [L.] R. Br.), com período experimental entre fevereiro de 2019 a fevereiro de 2020. Foi utilizado um fatorial 3 x 2, composto por três sistemas de cultivo, ambas as culturas em sistemas exclusivos mais a consorciação de tais, associados a dois níveis de mulch: NM e WM (utilizando-se *Urochloa mosambicensis* como cobertura na proporção de 18 Mg ha<sup>-1</sup>), sem restituição da palha durante o período avaliado. As plantas de palma foram dispostas no espaçamento 1,6 x 0,20 m entre linhas e plantas, totalizando 31,25 mil plantas por hectare.

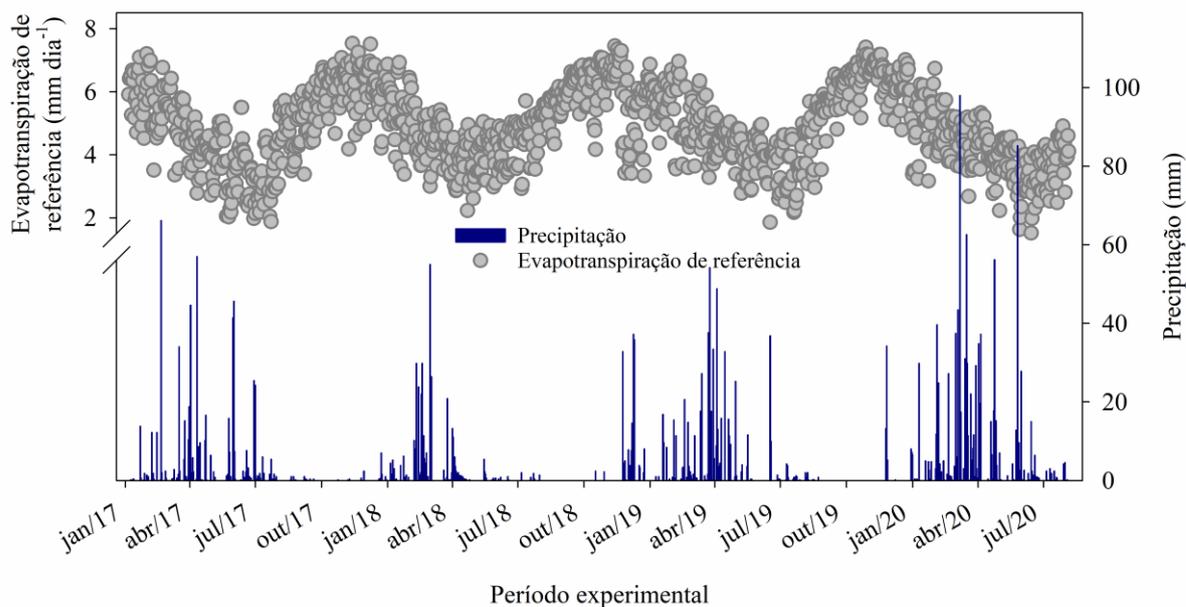
A cultura do milho foi semeado a uma distância de 0,20 m das linhas de palma, com um espaçamento de 20 plantas por metro linear. O mesmo, apresentou dois ciclos produtivos, o primeiro cultivo disposto em fileiras duplas (27 de fevereiro de 2019, ciclo de 90 dias) com estande de 250,0 plantas por hectare e, o segundo em uma única fileira (10 de outubro de 2019, ciclo de 126 dias) com 125,0 plantas por hectare. Entre o primeiro e segundo ciclo do milho houve sucessivas semeaduras, as quais não apresentaram êxito. As parcelas apresentavam área de 25,6 m<sup>2</sup>. Os dados meteorológicos se encontram apresentados na Fig. 1 e Tabela 2, os quais auxiliaram no manejo da irrigação (120% da ETc).

#### 2.2.4. Área 4: níveis de cobertura

O clone de palma forrageira utilizado foi o Orelha de Elefante Mexicano, com início dos tratamentos em agosto de 2019 e término em agosto de 2020 (i.e., colheita). As parcelas foram compostas por três níveis de mulch (5,0; 10,0 e 15 Mg ha<sup>-1</sup>, WM) mais a condição de solo aparente (0,0 Mg ha<sup>-1</sup>, NM), todas irrigadas com 80% da ET<sub>c</sub>. As mesmas, apresentavam área de 16,0 m<sup>2</sup>, contendo palhada proveniente de *Urochloa mosambicensis*, sem restituição durante o período em estudo. As condições meteorológicas foram analisadas durante todo período experimental, e estão apresentadas na Fig. 1 e Tabela 2.

#### 2.3. Manejo da irrigação

A gestão da irrigação foi realizada por meio de um sistema de gotejo, com as fitas apresentando espaçados entre emissores de 0,20 m e distantes das linhas de cultivo da palma em 0,20 m. O sistema operou a uma pressão de 1,0 atm, com vazão média de 1,60 L h<sup>-1</sup> e uniformidade de distribuição de 93%. Os cálculos para realização da irrigação foram baseados na evapotranspiração de referência - ET<sub>0</sub>, pelo método de Penman-Monteith descrito no boletim da FAO-56 (ALLEN et al., 1998) e pela evapotranspiração da cultura - ET<sub>c</sub>, baseando-se em um K<sub>c</sub> de 0,52 durante todo o ciclo, proposto por Queiroz et al. (2015). Os dados de natureza meteorológicos (Fig. 1) foram coletados através de uma estação automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia, localizada a 20 m das áreas experimentais.



**Figura 1.** Dados de Evapotranspiração de referência e precipitação para o período de janeiro de 2017 a agosto de 2020, compreendendo todos os períodos de estudo, para o município de Serra Talhada – PE.

As áreas em estudo receberam diferentes lâminas de irrigação decorrente das diferentes condições de cultivo, bem como dos diferentes regimes hídricos adotados conforme o período avaliado, apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores acumulados de lâmina de irrigação e variáveis meteorológicas em milímetros, durante o período experimental para cada área avaliada.

Variáveis	Irrigação- cobertura- clones	--- Lâminas de irrigação ---			Consórcio- cobertura	Níveis de cobertura
		40%ET <sub>c</sub>	80%ET <sub>c</sub>	120%ET <sub>c</sub>		
	52%ET <sub>0</sub>				120%ET <sub>c</sub>	42%ET <sub>c</sub>
Irrigação	684,82	212,47	433,23	658,22	585,45	305,35
Precipitação	1000,8		1342,2		711,8	1110,2
ET <sub>0</sub>	2674,4		2051,87		1755,08	1759,73

ET<sub>0</sub> - Evapotranspiração de referência; ET<sub>c</sub> - Evapotranspiração da cultura.

## 2.4. Coleta de dados

### 2.4.1. Rendimento de forragem

Ao final do período avaliado para as distintas áreas procedeu-se a colheita da palma. Antes dessa prática foram realizadas a contagem das plantas das duas fileiras centrais de cada parcela (i.e., área útil experimental), afim de estabelecer a densidade final de plantas. Após essa atividade, efetuou-se o corte das plantas e pesagem em balança eletrônica, obtendo-se assim o peso total da parcela útil (kg). Ulteriormente, foram selecionados três cladódios representativos do terço central de uma planta, obtendo-se assim a matéria fresca desses, em seguida, foram fragmentados, acondicionados em sacos de papel e levados a estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C (SILVA; QUEIROZ, 2005), até atingir massa seca constante. A produtividade da colheita em matéria fresca (MF, Mg ha<sup>-1</sup>) foi referente ao produto entre a densidade final de plantas e o peso fresco médio das plantas da parcela útil. A produtividade em matéria seca (MS, Mg ha<sup>-1</sup>) foi resultante do produto entre a MF e o teor de matéria seca, proveniente da relação de matéria fresca e seca dos três cladódios.

Ao término de cada ciclo produtivo do milho (Área 3), desprezou-se as bordaduras, avaliando apenas as linhas de cultivo centrais da parcela útil (quatro linhas para o primeiro ciclo, com fileiras duplas e duas linhas para o segundo ciclo, fileira única). Foram contabilizados os números de plantas em dois metros lineares a fim de estabelecer a densidade final. Posteriormente, foram colhidas 10 plantas de cada linha, cortadas a 0,10 m acima do solo e pesadas em balança eletrônica, para obtenção do peso fresco. Das plantas colhidas, foram selecionadas três plantas e pesadas individualmente, fragmentadas e acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufa com temperatura de 65 °C, obtendo-se assim os valores de matéria seca. A extrapolação da produtividade final do milho foi realizado análogo a da palma, descrito no parágrafo anterior.

#### 2.4.2. Índices de eficiência biológica

O efeito da competitividade intraespecífica foi obtido por meio do seguinte índice: taxa equivalente da terra (TET), usada para quantificar a melhoria da produtividade dos sistemas consorciados em relação ao aproveitamento da terra pelos seus monocultivos, usando o modelo matemático (Equação 1) (MOGHBELI et al., 2019; AMANULLAH et al., 2020).

$$TET = \left( \frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} + \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \right) \quad (1)$$

em que,  $Y_{ab}$  e  $Y_{ba}$  são as produtividades da palma e do milho em sistemas consorciado, respectivamente;  $Y_{aa}$  e  $Y_{bb}$  correspondem as produtividades da palma e do milho em sistema de monocultivos, respectivamente. Quando a TET for igual a 1,0 indica que a produção consorciada não difere do monocultivos. O valor menor que 1,0 aponta que o rendimento foi desfavorecido pelo consórcio.

As vantagens da consorciação entre a palma e o milho foram avaliadas usando a razão de área equivalente no tempo (RAET), coeficiente equivalente da terra (CET) e o índice de produtividade do sistema (IPS), calculados conforme os procedimentos demonstrado nas Equações 2, 3 e 4, respectivamente:

$$RAET = \left[ \frac{(TET_a \times t_a) + (TET_b \times t_b)}{t_{ab}} \right] \quad (2)$$

em que,  $TET_a$  e  $TET_b$  são as taxas equivalentes da terra para a palma e o milho, respectivamente;  $t_a$ ,  $t_b$  e  $t_{ab}$  representa o tempo em dias do ciclo da palma (352 dias), do milho (216, dias) e o tempo total do sistema de cultivo, respectivamente. Os valores divergentes de 1,0 para mais ou para menos representam vantagens e desvantagens, nesta ordem, entre o consórcio e seus monocultivos (DINIZ et al., 2017; AMANULLAH et al., 2020).

$$CET = TET_a \times TET_b \quad (3)$$

em que, apresenta vantagem produtiva na consorciação de culturas os valores de CET maiores que 25%, de acordo com Diniz et al. (2017).

$$IPS = \left[ \left( \frac{Y_{aa}}{Y_{bb}} \right) \times Y_{ba} \right] + Y_{ab} \quad (4)$$

em que, apresenta a vantagem de padronização da produtividade do milho em relação a cultura da palma forrageira (OSENI; ALIYU, 2010).

#### 2.4.3. Índices de habilidade competitiva

A vantagem do consórcio e os impactos da competição interespecífica palma-milheto foi avaliada usando os seguintes índices: coeficiente de adensamento relativo (K), agressividade (A), perda ou ganho atual de rendimento (PGAR) e a razão de competitividade (RC), conforme Equações 5, 6, 7 e 8 (DINIZ et al., 2017; LI et al., 2020).

$$K = \left[ \frac{Y_{ab} \times Z_{ba}}{(Y_{aa} - Y_{ab}) \times Z_{ab}} \right] \times \left[ \frac{Y_{ba} \times Z_{ab}}{(Y_{bb} - Y_{ba}) \times Z_{ba}} \right] \quad (5)$$

em que,  $Z_{ab}$  e  $Z_{ba}$  representam a proporção de plantio da espécie “a” (palma forrageira, 16%) e da espécie “b” (milheto, 84%), respectivamente. O coeficiente K demonstra a dominância de uma espécie sobre a outra no sistema de consorciação. Valores de  $K > 1,0$  indica que o sistema consorciado apresenta superioridade sobre o monocultivo.

$$A_{ab} = \left( \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ba}} \right) - \left( \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ab}} \right) \quad (6)$$

em que, o índice  $A_{ab}$  é uma resposta da competição interespecífica em um sistema consorciado, mostrando o quanto o rendimento de uma cultura é superior à da outra. Valores de  $A_{ab} > 0,0$  uma superioridade na competitividade da palma sobre o milheto, já o inverso,  $A_{ba} > 0,0$  indica superioridade do milheto em relação a palma (DINIZ et al., 2017; BI et al., 2019).

$$PGAR = \left[ TET_{ab} \times \left( \frac{100}{Z_{ab}} \right) - 1 \right] + \left[ TET_{ba} \times \left( \frac{100}{Z_{ba}} \right) - 1 \right] \quad (7)$$

em que, o valor de PGAR positivo ( $PGAR > 0,0$ ), indica benefícios cumulativos do consórcio em relação ao sistema de cultivo exclusivo.

$$RC_{ab} = \left( \frac{TET_{ab}}{TET_{ba}} \right) \times \left( \frac{Z_{ba}}{Z_{ab}} \right) \quad (8)$$

em que, valores de  $RC > 1,0$ , verifica-se efeitos negativos sobre o consórcio, decorrente da competitividade entre as espécies do que os seus monocultivos, para valores  $< 1,0$  sugere que benefícios positivos são decorrentes da associação entre as culturas.

#### 2.4.4. Indicadores econômicos

Utilizamos uma análise econômica considerando 34 sistemas de cultivo distintos, resultante da combinação dos diversos sistemas nas quatro áreas experimentais, por intermédio dos valores de rendimento bruto e líquido, levando em conta a depreciação dos componentes do sistema, juros sobre o capital investido, custos com energia, mão de obra, manutenção dos componentes do sistema e reserva de contingência, conforme descritos por Lima et al. (2018). Servindo de entrada para obtenção dos seguintes indicadores: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e o índice de lucratividade (IL) conforme Equações 9, 10 e 11 (BASAVARAJ et al., 2013; SHARMA; IRMAK, 2020).

$$VPL = \sum_{n=1}^N \left[ \frac{B_n - C_n}{(1+d)^n} \right] \quad (9)$$

em que,  $B_n = P_n \times Q_n$ ,  $B_n$  representa os retornos da produção com a venda de forragem (palma e milheto) e para “semente” (palma);  $P_n$  é o preço de venda das culturas (palma para forragem – R\$ 150,00  $Mg^{-1}$ ; palma semente – R\$ 0,10  $unid.^{-1}$ ; milheto para forragem – R\$ 450,00  $Mg^{-1}$ );  $Q_n$  retrata o volume da produção das culturas ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ ) durante o ano “n”;  $C_n$  representa o custo de produção dos diferentes sistemas ( $R\$ \text{ ha}^{-1}$ ) durante o ano “n”;  $d$  caracteriza a taxa de retorno exigida (taxa de desconto);  $n$  é vida econômica do investimento. A utilização desse índice é de grande importância na tomada de decisão em projetos de investimento. Valores positivos apontam viabilidade econômica.

$$TIR \Rightarrow \sum_{n=1}^N \left[ \frac{B_n - C_n}{(1+d)^n} \right] = 0 \quad (10)$$

em que, essa taxa demonstra a habilidade média de ganho do capital investido por projeto em um determinado tempo. O TIR calcula a taxa de desconto que deve ter um fluxo de caixa para que o VPL seja igual a zero. Para viabilizar o investimento, a TIR tem que ser superior a taxa de desconto do projeto.

$$IL = \frac{\sum_{n=1}^N VPL}{\text{Investimento inicial}} \quad (11)$$

em que, IL simula a potencialidade que o projeto apresenta para gerar lucro. Valores de  $IL \leq 1,0$  indica inviabilidade na execução do projeto.

## 2.5. Análise estatística

Os dados de rendimento produtivo dos sistemas, número de cladódios, índices biológicos e competitivos para o sistema consorciado foram comparados dentro de cada área de estudo. Os mesmos foram submetidos testes de normalidade e homocedasticidade, no momento que atenderam os pressupostos procedeu-se a ANOVA pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Quando constatado significância do teste, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram efetuadas operando o software R (R CORE TEAM, 2019).

## 3. Resultados

### 3.1. Desempenho produtivo

Não foi observado interação entre os fatores cobertura-irrigação-clones ( $p > 0,05$ ), para o rendimento de matéria fresca, matéria seca e número total de cladódios ( $Y_{MF}$ ,  $Y_{MS}$  e NTC, respectivamente) (Tabela 3). Houve efeito dos fatores clones, sistema um (sequeiro e irrigado) e sistema dois (sem e com cobertura morta) isolados para  $Y_{MF}$ ,  $Y_{MS}$  e NTC ( $p < 0,05$ ). A espécie *Opuntia stricta* (Haw.) Haw (clone Orelha de Elefante Mexicana, OEM) mostrou maior  $Y_{MF}$  e  $Y_{MS}$ , ao passo que a Miúda (MIU) apresentou maior emissão de cladódios ( $p < 0,05$ ). Dentro do sistema um (Sist.1) a condição de sequeiro apresentou maior  $Y_{MF}$ ,  $Y_{MS}$  e NTC quando comparado ao irrigado ( $p < 0,05$ ). O cultivo com cobertura morta de palha dentro do sistema dois (Sist.2) apresentou maior retorno de  $Y_{MF}$ ,  $Y_{MS}$  e NTC em relação ao cultivo sem cobertura ( $p < 0,05$ ) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Desempenho de clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) condicionados à sistema de produção cobertura-irrigação-clones.

Variáveis	----- Clones -----			--- Sistema 1 ---		--- Sistema 2 ---		CV (%)
	OEM	MIU	IPA	I	S	CC	SC	
Y <sub>MF</sub>	310,76 a	152,10 b	153,87 b	188,97 b	222,19 a	234,82 a	176,33 b	1,09
Y <sub>MS</sub>	29,87 a	15,45 b	12,44 b	17,39 b	21,19 a	21,50 a	17,08 b	13,71
NTC	12,13 b	30,93 a	16,18 b	18,00 b	21,50 a	21,81 a	17,68 b	12,4
Taxa de mortalidade de plantas (%)								
	Clones x Sistema 1			Sistema 1 x Sistema 2				
	OEM	MIU	IPA	No-mulch	With-mulch			
Irrigado	24,72 c	52,71 bA	77,16 aA	59,23 aA	43,83 bA			
Sequeiro	18,76 b	31,25 abB	45,38 aB	31,70 B	31,89 B			

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas e letras maiúsculas nas colunas dentro dos clones, do sistema 1 e 2 e na interação entre eles não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. OEM – Orelha de Elefante Mexicana; MIU – Miúda; IPA – IPA Sertânia; I – Cultivo irrigado; S – Cultivo em sequeiro; CC – Cultivo com cobertura morta; SC – Cultivo sem cobertura morta; CV – Coeficiente de variação; NTC – Número total de cladódios (Unid.); Y<sub>MF</sub> – Produtividade de matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>); Y<sub>MS</sub> – Produtividade de matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>); No-mulch e With-mulch – cultivo sem e com cobertura morta, respectivamente.

Foram observadas interação entre os clones e o Sist.1 e entre o Sist.1 e Sist.2 para a taxa de mortalidade de plantas (TMP) ( $p < 0,05$ ). A maior taxa de mortalidade de plantas foi observada na interação clone IPA-Sertânia (IPA) na condição irrigada (Tabela 3). As menores TMP foram observados para o *O. stricta* com média de 65% menor que o clone IPA. Na interação entre Sist.1 x Sist.2 foi constatado que a irrigação sem cobertura morta proporciona maior TMP quando comparado ao uso de cobertura ( $p < 0,05$ ). Para a condição de sequeiro não houve diferença no uso de cobertura morta para a TMP ( $p > 0,05$ ). Dentro do sistema sem e com cobertura morta houve efeito da irrigação em relação ao cultivo em sequeiro ( $p < 0,05$ ).

Não foi observado interação entre clones e níveis de irrigação para Y<sub>MF</sub>, Y<sub>MS</sub>, NTC e TMP (Tabela 4). Foram encontrados efeitos apenas entre clones, *O. stricta*, sendo superior a espécie de *Nopalea cochenillifera* (clones MIU e IPA) no rendimento de matéria fresca e seca, ao passo que os clone MIU e OEM apresentaram maiores valores de NTC em relação ao IPA ( $p < 0,05$ ). Houve diferença entre as plantas de *Nopalea* e *Opuntia* para a taxa de mortalidade de plantas ( $p < 0,05$ ), em média as plantas de *Nopalea* apresentaram superioridade de 90% para a TMP.

**Tabela 4.** Produtividade e mortalidade de plantas de palma sob diferentes regimes hídricos.

Variáveis	----- Clones (C) -----			----- Valor P (0,05) -----			CV (%)
	OEM	MIU	IPA	C	RH	C x DH	
Y <sub>MF</sub>	321,76 a	67,97 b	101,26 b	0,00**	0,40 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	33,34
Y <sub>MS</sub>	28,41 a	5,27 b	7,33 b	0,00**	0,67 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	30,25
NTC	13,56 a	14,68 a	9,31 b	0,00**	0,53 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	26,51
TMP	6,00 b	60,00 a	63,00 a	0,00**	0,81 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	23,80

Médias seguidas de letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \*\*, \* e ns – significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

OEM – Orelha de Elefante Mexicana; MIU – Miúda; IPA – IPA Sertânia; RH – Regime hídrico; CV – Coeficiente de variação; Y<sub>MF</sub> – Produtividade de matéria fresca (Mg ha<sup>-1</sup>); Y<sub>MS</sub> – Produtividade de matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>); NTC – Número total de cladódios; IAC – Índice de área de cladódio (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>); TPM – Taxa de mortalidade de plantas (%).

Não foi observado interação entre os sistemas e os tratamentos (sem e com cobertura morta) (Tabela 5). Foram encontrados efeito isolado para o *Pennisetum glaucum* sobre o sistema para Y<sub>MF</sub> do ciclo 1, com o cultivo exclusivo superando o consórcio em 39% (p < 0,05). Não houve diferença significativa entre os tratamentos sem e com cobertura morta para Y<sub>MF</sub> do milho no ciclo 1, bem como para os sistemas e os tratamentos do ciclo 2 e o somatórios dos dois ciclos (p > 0,05). Em termos de produtividade de matéria seca o *P. glaucum* apresentou efeito isolado entre sistemas e tratamentos para o ciclo 1 e o somatórios do ciclo 1 e 2 (p < 0,05). O sistema com cobertura morta apresentou Y<sub>MS</sub> de 2,13 vezes maior que o cultivo sem cobertura para o ciclo 1 do milho. O maior valor de Y<sub>MS</sub> foi encontrado para o ciclo 1 do milho exclusivo, 2,5 vezes maior em relação ao seu consórcio com a palma.

**Tabela 5.** Produtividade de matéria fresca e seca por ciclo de milho, palma e número total de cladódios (NTC).

Matéria fresca (Mg ha <sup>-1</sup> )								
Variáveis	----- Sistemas -----			- Tratamentos -		--- Valor P (0,05) ---		CV (%)
	P <sub>Exc.</sub>	M <sub>Exc.</sub>	P-M	CC	SC	Sistema	Tratamento	
Y <sub>MC1</sub>	–	13,97 a	8,46 b	12,91	9,52	0,04*	0,18 <sup>ns</sup>	41,71
Y <sub>MC2</sub>	–	5,18	4,97	5,15	5,01	0,88 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	54,40
∑Ciclos	–	19,15	13,44	18,06	14,53	0,07 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	35,39
Y <sub>P</sub>	360,57	–	360,25	374,43	346,39	0,99 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	25,58
Y <sub>PM</sub>	360,57 a	19,15 b	373,69 a	261,66	240,61	0,00**	0,50 <sup>ns</sup>	30,28
Matéria seca (Mg ha <sup>-1</sup> )								
Variáveis	----- Sistemas -----			- Tratamentos -		--- Valor P (0,05) ---		CV (%)
	P <sub>Exc.</sub>	M <sub>Exc.</sub>	P-M	CC	SC	Sistema	Tratamento	
Y <sub>MC1</sub>	–	5,16 a	2,06 b	4,91 a	2,30 b	0,01*	0,03*	59,01
Y <sub>MC2</sub>	–	1,32	1,28	1,31	1,30	0,89 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	52,57
∑Ciclos	–	6,49 a	3,34 b	6,22 a	3,60 b	0,02*	0,054 <sup>ns</sup>	47,46
Y <sub>P</sub>	27,33	–	31,78	29,03	30,08	0,39 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	33,60
Y <sub>PM</sub>	27,33 a	6,49 b	35,12 a	23,50	22,45	0,00**	0,75 <sup>ns</sup>	35,82
NTC	18,50	–	16,12	16,87	17,75	0,36 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	28,53

Médias seguidas de letras iguais nas linhas dentro dos sistemas e dos tratamentos não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

P<sub>Exc.</sub> – Palma cultivada exclusiva; M<sub>Exc.</sub> – Milheto cultivado exclusivo; P-M – Consórcio palma-milheto; CC – Cultivo com cobertura morta; SC – Cultivo sem cobertura morta; CV – Coeficiente de variação; Y<sub>MC1</sub> e Y<sub>MC2</sub> – Produtividade do milho no ciclo 1 e 2, respectivamente; ∑Ciclo – Somatório dos ciclos do milho; Y<sub>P</sub> – Produtividade da palma; Y<sub>PM</sub> – produtividade da palma + milho; NTC – Número total de cladódios.

Não foi observado interação entre sistemas e tratamentos para a produtividade de matéria fresca e seca da palma (Tabela 5). Para os sistemas de cultivo a Y<sub>MF</sub> e Y<sub>MS</sub> não diferiram para o cultivo exclusivo e consorciado da palma com o milho. O mesmo ocorreu para os tratamentos sem e com cobertura morta (p > 0,05). Para a soma da produtividade de matéria fresca e seca das duas culturas não foi observado diferenças entre os sistemas sem cobertura e com cobertura morta de palha. Para o NTC não foram encontrados efeitos dentro de sistemas nem dos tratamentos (p > 0,05).

O sistema de cultivo com diferentes níveis de cobertura morta apresentou significância entre as quantidades aplicadas (Tabela 6). Foram observadas tendência linear ascendente para os parâmetros produtivos (Y<sub>MF</sub> e Y<sub>MS</sub>). Não houve efeito da palhada sobre o NTC (p > 0,05).

**Tabela 6.** Produtividade da palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana acometido a diferentes níveis de cobertura morta sobre o solo.

Variáveis	----- Tratamentos (T) -----				p	CV (%)	Equação	r <sup>2</sup>
	0	5	10	15				
Y <sub>MF</sub>	449,5	510,87	715,75	871,25	0,0183	36,13	Y <sub>MF</sub> =29,3024·(T)+415,827	0,95
Y <sub>MS</sub>	28,22	41,74	65,46	66,09	0,0361	43,13	Y <sub>MS</sub> =2,7466·(T)+29,783	0,86
NTC	14,5	10,0	13,75	13,75	0,0681	17,01	-	-

Médias seguidas de letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \*\*, \* e ns – significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente. p – nível de significância do valor p; r<sup>2</sup> – coeficiente de determinação.

Y<sub>MF</sub> – Produtividade de matéria fresca (Mg ha<sup>-1</sup>); Y<sub>MS</sub> – Produtividade de matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>); NTC – Número total de cladódios.

Note: - valor não apresentado; valores de tratamentos referentes à 0, 5, 10 e 15 Mg ha<sup>-1</sup>.

### 3.2. Índices de concorrência

O uso de cobertura morta de palha influenciou positivamente na taxa equivalente da terra (LER) e a razão de área equivalente no tempo (RAET) quando comparado ao cultivo controle sem cobertura morta de palha ( $p < 0,05$ ) (Tabela 7). Nosso estudo não apresentou efeito da cobertura sobre o consórcio para o coeficiente equivalente de terra (CET) e para o índice de produtividade do sistema ( $p > 0,05$ ). A LER<sub>t</sub> foi superior 41,9% para o sistema com palhada.

**Tabela 7.** Eficiência biológica do consórcio *Opuntia stricta* e *Pennisetum glaucum* (palma-milheto) submetidos a cultivos sem e com cobertura morta de palha sobre o solo, em ambiente semiárido.

Tratamentos	TET <sub>ab</sub>	TET <sub>ba</sub>	LER <sub>t</sub>	RAET	CET	IPS
P/M Sem	0,99 b	0,56	1,55 b	1,33 b	0,63	47,54
P/M Com	1,77 a	0,52	2,29 a	2,09 a	0,69	47,12
N.S.	*	ns	*	*	ns	ns

P/M Sem – Consórcio palma-milheto sem cobertura morta de palha; P/M Com – consórcio palma-milheto com cobertura morta de palha; LER – taxa equivalente da terra; RAET – razão de área equivalente no tempo; CET – coeficiente equivalente de terra; IPS – índice de produtividade do sistema; TET<sub>ab</sub> – taxa equivalente da terra parcial da palma; TET<sub>ba</sub> – taxa equivalente da terra parcial do milho; TET<sub>t</sub> – taxa equivalente da terra total; N.S. – Nível de significância; \* - nível de significância a 5% de probabilidade e; ns – não significativo pelo teste F.

Foram encontrados efeito do tratamento uso de cobertura morta de palha sobre o solo para os seguintes índices, coeficiente de adensamento relativo (K), agressividade (A) e para a perda ou ganho atual de rendimento ( $p < 0,05$ ) (Tabela 8). Não foram observados diferença

entre o cultivo sem e com uso de palhada sobre o solo para a razão de competitividade (RC) tanto da palma sobre o milho quanto do milho sobre a palma ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 8.** Índices de habilidade competitiva para o consórcio palma-milho em um clima semiárido.

Trat.	K <sub>ab</sub>	K <sub>ba</sub>	K <sub>t</sub>	RC <sub>ab</sub>	RC <sub>ba</sub>	A <sub>ab</sub>	A <sub>ba</sub>	PGAR <sub>ab</sub>	PGAR <sub>ba</sub>	PGAR
P/M Sem	-5,10b	0,69	-3,26	33,48	0,10	5,72b	-5,72a	637,53b	66,58	704,11b
P/M Com	3,70a	-0,29	-1,07	29,46	0,10	10,77a	-10,77b	1138,76a	62,21	1200,98a
N.S.	*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns	*

P/M Sem – Consórcio palma-milho sem cobertura morta de palha; P/M Com – consórcio palma-milho com cobertura morta de palha; K – coeficiente de adensamento relativo; RC – razão de competitividade; A – agressividade; PGAR – perda ou ganho atual de rendimento; ab – parcial da palma sobre o milho; ba – parcial do milho sobre a palma; t – total; N.S. – Nível de significância; \*\* - significativo a 1% de probabilidade; \* - significativo a 5% de probabilidade e; ns – não significativo pelo teste F.

### 3.3. Análise econômica

O custo total para produção de um hectare de palma irrigada na densidade de 50,0 mil plantas foi em média de R\$ 19.529,09, já para a densidade de 31,25 mil plantas o custo de implantação é de 21,1% menor. A palma cultivada em sequeiro apresenta o custo de implantação de um hectare menor 1,91 vezes em relação ao irrigado (Tabela 9). Os menores custos de implantação foram constatados na cultura do *P. glaucum*.

**Tabela 9.** Custo de implantação (R\$ ha<sup>-1</sup>) e operacional dos diferentes sistemas de produção da palma forrageira e do milho.

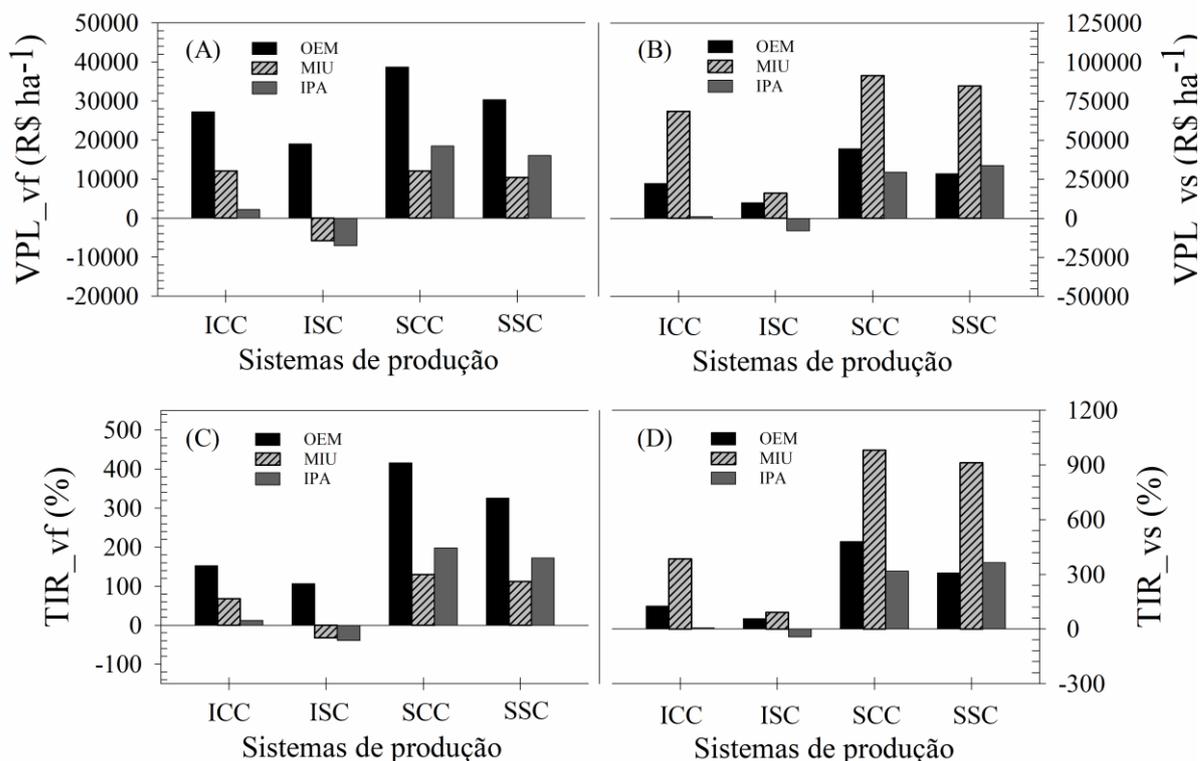
Cobertura-irrigação-clones				
	Tratamento			
	Irrigado	Sequeiro		
Custo fixo	15.215,13	8.676,77		
Custo variável	4.383,96	1.559,83		
Custo total	19.599,09	10.236,59		
Lâminas de irrigação				
	Tratamentos			
	0%ETc	40%ETc	80%ETc	120%ETc
Custo fixo	8.676,77	15.215,13	15.215,13	15.215,13
Custo variável	1.559,83	4.005,86	4.236,56	4.479,52
Custo total	10.236,59	19.220,99	19.451,69	19.694,64
Consórcio-cobertura				
	Tratamentos			
	Palma-Milheto	Palma	Milheto	
Custo fixos	12.287,02	11.577,63	7.595,27	
Custo variável	4.612,72	3.830,03	2.559,47	
Custo total	16.899,74	15.407,65	10.154,74	
Níveis de cobertura				
	Tratamentos			
	0 Mg ha <sup>-1</sup>	5 Mg ha <sup>-1</sup>	10 Mg ha <sup>-1</sup>	15 Mg ha <sup>-1</sup>
Custo fixos		15.215,13		
Custo variável		4.463,93		
Custo total		19.679,06		

ETc - Evapotranspiração de referência

Para o sistema cobertura-irrigação-clones o valor presente líquido (VPL) variou conforme o estilo de comercialização da cultura, na forma de forragem ou semente (Fig. 2). O maior valor presente líquido na modalidade de venda para forragem (VPL<sub>vf</sub>) foi observado para as plantas de *Opuntia stricta* (clone OEM), com média de R\$ 28.815,48 ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> (ciclo de 18 meses), superando as plantas de *Nopalea* (MIU e IPA) em 75% e 74%, respectivamente. Os sistemas de cultivo em sequeiro, independente do clone utilizado, apresentaram maiores VPL<sub>vf</sub>, com média de R\$ 20.993,01 ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>, superando em 62% o cultivo irrigado. O uso de cobertura morta proporcionou aumento do VPL em relação aos cultivos sem cobertura de palha. O clone IPA apresentou o pior desempenho, com valores negativos para o sistema irrigado sem cobertura (ISC).

Quando foi analisada a modalidade de venda de cladódios para plantio “cladódios sementes”, os maiores valores de VPL<sub>vs</sub> foram encontrados para o clone MIU, com média de R\$ 65.224,15 ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>, superando em 59% e 78% os clones de OEM e IPA, respectivamente.

Os sistemas em sequeiro apresentaram maior VPLvs (média R\$ 52.172,93 ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>), sendo 2,83 vezes superior ao cultivo irrigado. O menor valor foi observado para o sistema IPA-ISC com VPLvs de R\$ -7.898,87.

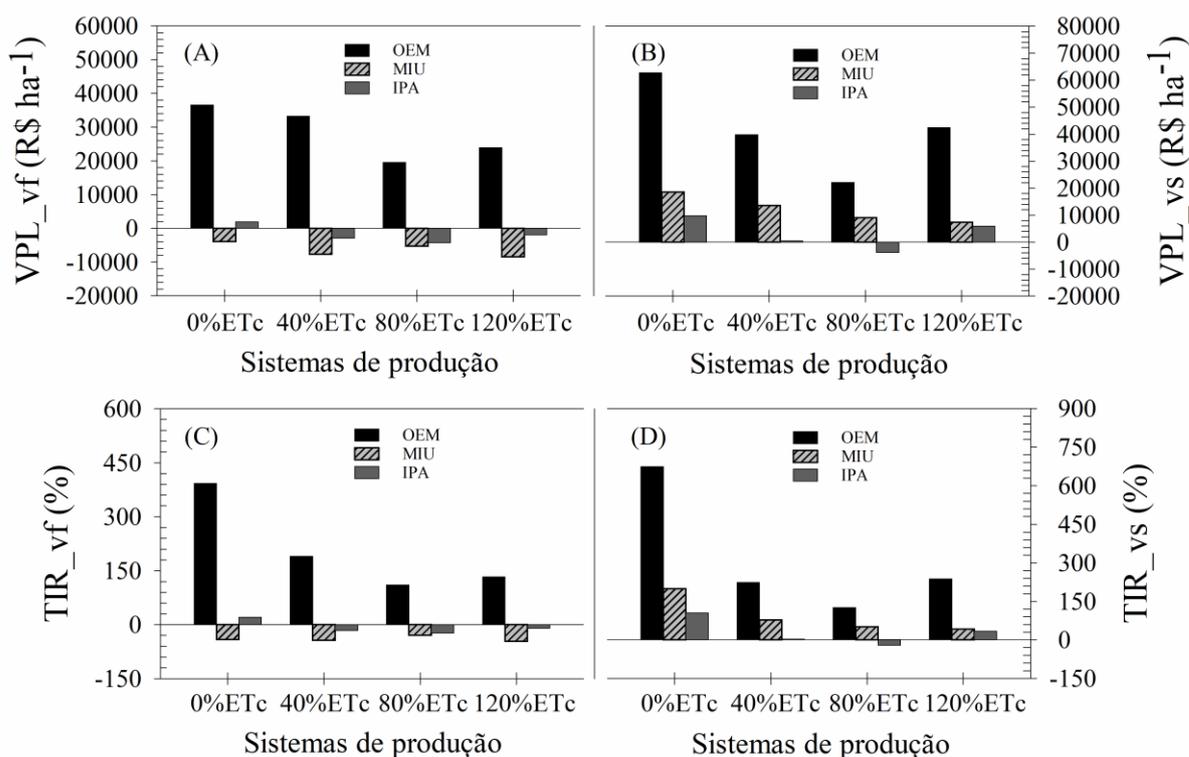


**Figura 2.** Valor presente líquido (VPL, A e B) e taxa interna de retorno (TIR, C e D) de três clones de palma forrageira (OEM – Orelha de Elefante Mexicana; MIU – Miúda; IPA – IPA Sertânia), combinados com quatro sistemas de cultivo (ICC – Irrigado com cobertura morta; ISC – Irrigado sem cobertura morta; SCC – Sequeiro com cobertura morta; SSC – Sequeiro sem cobertura morta). vf e vs representam as formas de venda para forragem e para plantio “semente”, respectivamente.

A maior taxa interna de retorno para venda de forragem (TIRvf) foi observada no clone OEM para o sistema sequeiro com cobertura morta de palha (416%). Os menores valores de TIRvf foram constatados no sistema irrigado sem cobertura (ISC) para os clones MIU e IPA com -32% e -39%, respectivamente. Na modalidade de venda de sementes (TIRvs), o clone MIU apresentou os maiores valores, independente do sistema, com valor máximo para o cultivo SCC (981%). A menor TIRvs foi encontrada para o sistema IPA-ISC, com -44%.

O VPLvf dentro dos sistemas com diferentes lâminas de irrigação reduziu com o aumento da lâmina (Fig. 3). O clone OEM apresentou os maiores valores de VPLvf com média

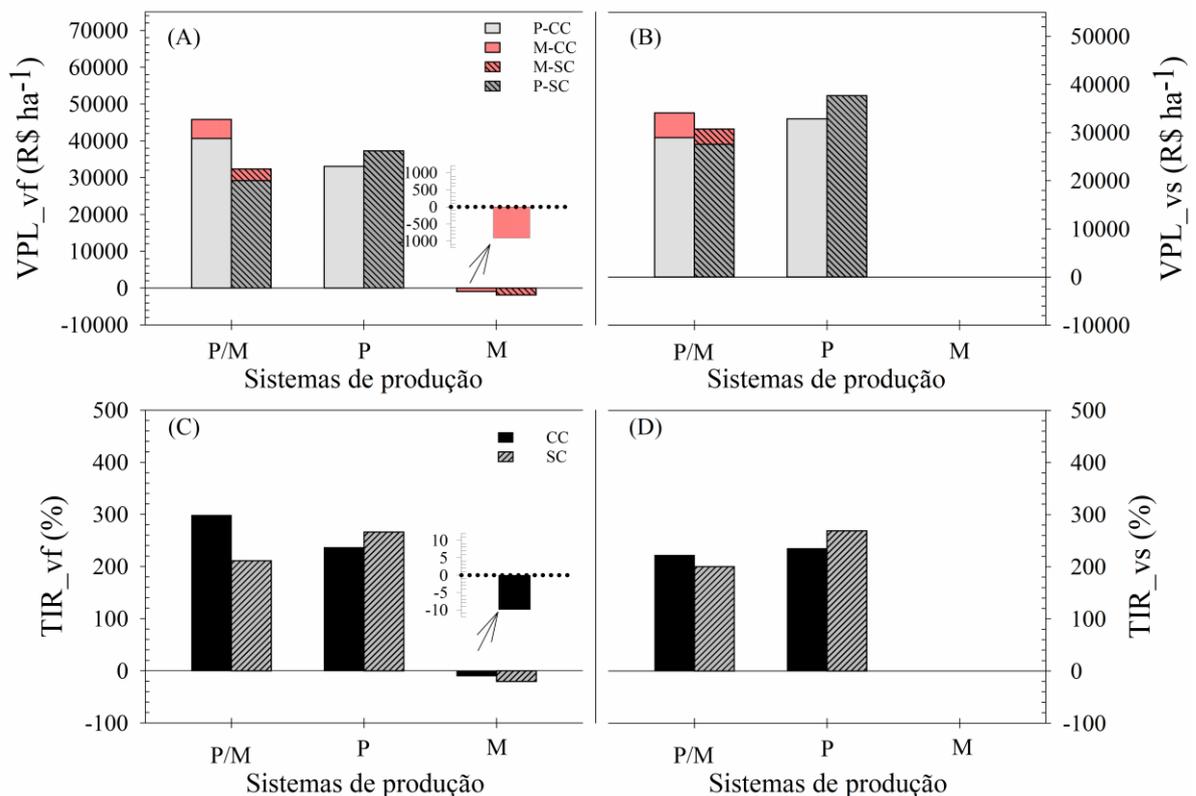
de R\$ 28.283,91 ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> (ciclo de 15 meses). Para o VPLvf o clone MIU apresentou receita negativa independente da disponibilidade hídrica (média de R\$ -6.322,74 ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>). O VPLvf foi superior para o cultivo em sequeiro (0%ETc), com média de R\$ 11.519,46 ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>. O VLPvs foi liderado pelo clone OEM seguido pelo MIU. O clone IPA apresentou resultados menos satisfatórios para VPL. O cultivo em sequeiro apresentou os maiores retornos de VPLvs com média de R\$ 30.345,52 ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>, superando em 40%, 69% e 38% as lâminas de 40, 80 e 120% da evapotranspiração da cultura, respectivamente.



**Figura 3.** Valor presente líquido (VPL, A e B) e taxa interna de retorno (TIR, C e D) em sistema de cultivo com três clones de palma forrageira (OEM, MIU e IPA) e diferentes frações da evapotranspiração da cultura (ETc).

A TIRvf foi superior nas plantas de *Opuntia* em relação as de *Nopalea*, com máxima de 392% para o sistema OEM-0%ETc (Sequeiro). Para o mesmo indicador econômico as diferentes lâminas de irrigação na sua maioria proporcionaram valores negativos para os clones MIU e IPA. A taxa interna de retorno na modalidade de venda cladódios para semente apresentou melhor resposta em relação a TIRvf. Para a TIRvs o sistema sequeiro apresentou os melhores resultados com 674%, 198% e 105% para os clones OEM, MIU e IPA, respectivamente.

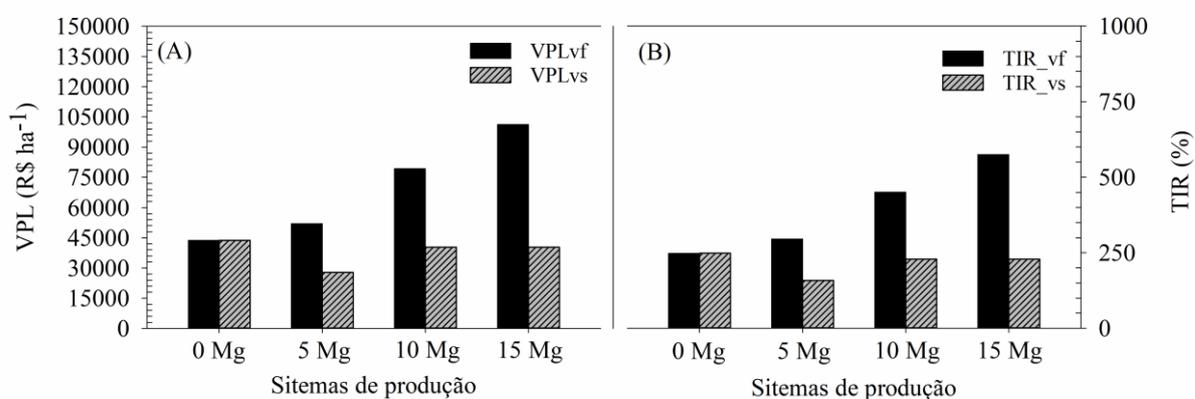
O sistema de cultivo consorciado entre plantas de *Opuntia stricta* e *Pennisetum glaucum* apresentou maior VPLvf para o sistema com cobertura morta (Fig. 4). O cultivo do milho exclusivo apresentou VPLvf negativos para ambos os tratamentos, sem e com uso de cobertura morta. Com relação a venda de cladódios sementes os maiores valores de VPLvs foram obtidos pelo cultivo exclusivo de *O. stricta*, com média de R\$ 35.274,92 ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> (ciclo de 12 meses). O *P. glaucum* não foi avaliado para venda de sementes. Para a TIRvf os maiores valores foram alcançados pelo sistema de cultivo palma consorciada com milho no tratamento com cobertura morta. O sistema consorciado apresentou as menores TIRvs.



**Figura 4.** Valor presente líquido (VPL, A e B) e taxa interna de retorno (C e D) para três sistemas: consorciado palma-milho (P/M); palma exclusiva (P); e milho exclusivo (M). Combinados com dois tratamentos: com cobertura morta (CC) e sem cobertura morta (SC), sob duas perspectivas, venda para forragem (vf) e venda de cladódios para semente (vs). Note: A seta indica ampliação do resultado da análise.

Os valores de VPL e TIR para o cultivo de *O. stricta* em diferentes níveis de palhada são apresentados na Fig. 5. Os maiores valores VPLvf foi observado para o cultivo com 15 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada sobre o solo. Já para o VPLvs nos diferentes níveis de cobertura apresentaram

comportamentos semelhantes com média de R\$ 38.079,13 ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> (ciclo de 12 meses). A TIR<sub>vf</sub> apresentou menores valores para o sistema sem cobertura morta de palha, ao passo que os maiores valores foram observados no cultivo de palma com 15 Mg ha<sup>-1</sup>. O menor valor de TIR<sub>vs</sub> foi observado para o cultivo com 5 Mg ha<sup>-1</sup> de palha.



**Figura 5.** Valor presente líquido (VPL, A) e taxa interna de retorno (TIR, B) para cultivo de *Opuntia stricta* sob diferentes níveis de cobertura do solo, em dois cenários comerciais, venda para forragem (vf) e venda de cladódios para semente (vs).

O índice de lucratividade (IL) variou de acordo com os sistemas de cultivo e com a finalidade de comercialização da palma (Tabela 10). Dentro da área cobertura-irrigação-clones na modalidade de venda de forragem, o máximo valor de IL<sub>vf</sub> foi atingido pelo sistema OEM-SCC. As plantas de *Nopalea* apresentaram valores negativos para IL<sub>vf</sub> no sistema irrigado sem cobertura (ISC). Já para venda de sementes o clone MIU apresentou o melhor desempenho, com IL<sub>vs</sub> máximo para os sistemas sequeiro sem cobertura e sequeiro com cobertura morta de palha. O clone IPA apresentou os menores resultados, com valor negativo para o sistema ISC.

**Tabela 10.** Índice de lucratividade de diferentes sistemas de produção da palma em ambiente semiárido.

Cobertura-irrigação-clones								
Clones/Sistema	----- Venda forragem -----				----- Venda semente -----			
	ICC	SCC	ISC	SSC	ICC	SCC	ISC	SSC
OEM	1,39	3,78	0,97	2,97	1,15	4,36	0,51	2,8
MIU	0,62	1,18	-0,3	1,02	3,5	8,92	0,83	8,29
IPA	0,12	1,81	-0,36	1,57	0,06	2,89	-0,4	3,32

Lâminas de irrigação								
Clones/Sistema	----- Venda forragem -----				----- Venda semente -----			
	0%ETc	40%ETc	80%ETc	120%ETc	0%ETc	40%ETc	80%ETc	120%ETc
OEM	3,57	1,73	1	1,21	6,13	2,07	1,14	2,15
MIU	-0,38	-0,4	-0,27	-0,43	1,81	0,71	0,46	0,38
IPA	0,19	-0,15	-0,22	-0,1	0,96	0,03	-0,19	0,3

Consórcio-cobertura						
Sistema	----- Venda forragem -----			----- Venda semente -----		
	P <sub>Exc.</sub>	P-M	M <sub>Exc.</sub>	P <sub>Exc.</sub>	P-M	M <sub>Exc.</sub>
No-mulch	2,42	1,92	-0,19	2,44	1,82	-
With-mulch	2,14	2,71	-0,09	2,14	2,02	-

Níveis de cobertura				
Sistema	No-mulch	5 Mg	10 Mg	15 Mg
Venda forragem	2,26	2,69	4,1	5,23
Venda semente	2,26	1,44	2,08	2,08

OEM – Orelha de Elefante Mexicana; MIU – Miúda; IPA – IPA-Sertânia; ICC – irrigado com cobertura; SCC – sequeiro com cobertura; ISC – irrigado sem cobertura; SSC – sequeiro sem cobertura; ETc – evapotranspiração da cultura; P<sub>Exc.</sub> – cultivo de palma exclusivo; P-M – consórcio palma e milho; M<sub>Exc.</sub> – cultivo de milho exclusivo; No-mulch – cultivo sem cobertura morta no solo; With-mulch – cultivo com cobertura morta.

Quando observado a área com diferentes lâminas de irrigação as plantas de *Nopalea* apresentaram os piores resultados para o ILvf (Tabela 10), independente do sistema com ou sem irrigação. O melhor desempenho do ILvf foi encontrado para o clone OEM no sistema de sequeiro (0%ETc). Para o ILvs o sistema em sequeiro apresentou os melhores valores independente do clone utilizado. Para a área consórcio-cobertura o ILvf foi negativo no cultivo exclusivo do milho independente do cultivo sem ou com cobertura de palha. O cultivo da palma exclusiva e consorciada com milho não apresentou grande variação nos valores de IL seja para forragem ou para semente. O cultivo de palma sob diferentes níveis de palhada apresentou IL positivo para todos os tratamentos. Houve incremento ascendente do ILvf com o aumento do nível de palhada sobre o solo. Para a venda de sementes os valores não acompanharam o mesmo padrão da venda de forragem.

## 4. Discussão

### 4.1. Desempenho produtivo

Observamos apenas efeitos isolados para a produtividade de matéria fresca e seca no sistema cobertura-irrigação-clones (Tabela 3). Dentro do fator clones a maior produtividade foi do gênero *Opuntia* (clone OEM). Esse fato está ligado a TMP que foi bastante elevada nas plantas do gênero *Nopalea* (clones MIU e IPA), que apresentaram superioridade média de 62%, reduzindo a densidade de plantas com implicação direta na produtividade final. Silva et al. (2015) mencionam que plantas do gênero *Nopalea* apresentam maiores dificuldades de se estabelecerem e exibem elevada mortalidade em comparação com plantas de *Opuntia*.

Para o sistema um (Sist.1) nota-se que o cultivo em sequeiro influenciou positivamente o desempenho produtivo dos cactos (OEM, MIU e IPA). Esse fato está relacionado a boa disponibilidade de água via chuva com 628,4 mm no primeiro ano, e 372,4 mm no restante do ciclo (mais 6 meses), promovendo satisfatório desenvolvimento da cultura. Já o sistema irrigado forneceu 40,6% a mais de água para as plantas, acarretando em um excesso de água. Oliveira et al. (2010) relatam que em locais com chuva superior a 1000 mm ano<sup>-1</sup> há tendência de redução da produtividade da palma forrageira. Queiroz et al. (2015) encontraram decréscimo no desenvolvimento da palma forrageira com incrementos de água superior a 1.048 mm. No entanto, a quantidade de água a ser fornecida depende da cultura, estágio de desenvolvimento e condições edafoclimáticas (YAVUZ et al., 2015).

Avaliando o sistema dois (Sist.2) o  $Y_{MF}$ ,  $Y_{MS}$  e NTC foram mais satisfatórias em cultivo com palhada, superando em 25%, 21% e 19% o cultivo sem cobertura morta, nessa mesma ordem. Tal fato pode ser entendido pelos benefícios inerentes ao uso de palhada, como melhorias na distribuição da umidade do solo, redução das temperaturas e amplitude térmica, diminuição da evaporação, além do incremento de matéria orgânica e posterior disponibilidade de nutrientes (PAUL et al., 2020). Essa é uma prática bastante utilizada para aumentar o rendimento das culturas, apresentando fácil implantação, sem exigência de elevada mão de obra ou grau de tecnificação, contribuído para conservação do solo em regiões secas (JIMÉNEZ et al., 2017; CHEN et al., 2019). Em estudos com *Opuntia stricta* em ambiente semiárido, Amorim et al. (2017) encontraram superioridade de 62% em ganhos de matéria seca, em cultivos com cobertura morta de palha em relação ao solo desprotegido.

Dentro da área de estudo com diferentes lâminas de irrigação e clones (ver Tabela 4), houve variação da produtividade de  $Y_{MF}$  e  $Y_{MS}$  apenas para os clones. Comparado às plantas de *Nopalea*, o clone *O. stricta* apresentou melhores rendimentos de matéria fresca e seca. Esse fato se sucedeu devido à alta taxa de mortalidade de plantas do gênero *Nopalea*, como já havia sido constatado na área 1 (cobertura-irrigação-clones, Tabela 3), diminuindo o estande final e comprometendo a produtividade. De acordo com Morais et al. (2017), que estudaram a eficiência hídrica de plantas de *Opuntia* e *Nopalea* sob irrigação em região seca, encontraram que as plantas de *O. stricta* apresentaram melhor aproveitamento dos recursos hídricos, inferindo maior capacidade de conversão da água em matéria seca quando comparados a espécie *N. cochenillifera*.

A ausência de efeitos das lâminas de irrigação (Tabela 4) para a palma forrageira pode ser associada ao volume de chuva durante o período avaliado, totalizando 1342,2 mm (Tabela 2), acarretando em disponibilidade de água acima do requerido para o pleno crescimento das culturas (OLIVEIRA et al., 2010). As cactáceas apresentam grande capacidade de armazenamento de água em seus cladódios, possibilitando a manutenção de seu metabolismo e funções de crescimento e desenvolvimento durante períodos de deficit hídrico (MORAIS et al., 2017). Nesse sentido, pequenas diferenças no incremento de água acima de níveis suficientes de exigência podem não demonstrar respostas satisfatórias (QUEIROZ et al., 2015). Diniz et al. (2017) constataram que plantas de *O. stricta* não alteraram o rendimento entre lâminas de 355 e 1011 mm ano<sup>-1</sup>, tornando-se mais econômico a aplicação de lâminas menores. Estudando a associação dos fatores hídricos com a produção de fitomassa de clones de palma forrageira, Barbosa et al. (2017) não encontraram efeitos das diferentes ofertas de água.

Não foram encontrados interação entre sistemas e tratamentos para o cultivo consórcio-cobertura (Tabela 5). Houve decréscimo na produção de  $Y_{MF}$  e  $Y_{MS}$  do *P. glaucum* consorciado com a palma *O. stricta* em relação ao seu cultivo exclusivo de 39,4% e 60,1%, respectivamente, para o primeiro ciclo produtivo. Esse decréscimo é relativo à competição interespecífica, onde as culturas competem pelo mesmo nicho ecológico (i.e., luz, água e nutrientes) (GONG et al., 2020a). Esse fato pode ter sido intensificado devido a cultura principal (palma) encontrar-se no seu terceiro ano de cultivo, embora tenha ocorrido corte de uniformização, as plantas permaneceram com seus cladódios primários, apresentando pleno estabelecimento no campo, com dossel e sistema radicular bem desenvolvido, aumentando a competição por radiação, água e nutrientes, dificultando o crescimento inicial do milho.

Gong et al. (2020b) exemplificam que a radiação é fator crucial para a produtividade das plantas, no entanto em sistemas consorciados podem ocorrer restrições dessa, devido ao hábito de crescimento das culturas concorrentes ou o estágio de desenvolvimento da cultura principal. Além do fator radiação, a disponibilidade de água é crucial para promover satisfatórios rendimentos produtivos (BHATTARAI et al., 2020). Porém no presente estudo as culturas foram irrigadas com base nas necessidades hídricas da palma, sendo essa inferior à do milho, estimulando o déficit da cultura secundária. A junção desses fatores ajuda no entendimento dos menores rendimentos do milho em consórcio com a palma quando comparado ao seu cultivo exclusivo, não apresentando vantagens ao produtor a utilização de cultivo consorciado em períodos de elevado déficit hídrico ou com irrigação reduzida.

No segundo ciclo produtivo do milho, foram evidenciados os menores rendimentos da cultura, não havendo diferença entre o cultivo exclusivo e consorciado (Tabela 5). Esse achado está relacionado a época em que a cultura foi semeada (e.g., primavera), com ausência de precipitação e alta demanda atmosférica (Fig. 1), com o aporte hídrico insuficiente via irrigação (irrigação com base na necessidade da palma), gerando condições ambientais deficitárias. A limitada disponibilidade de água no solo prejudica a solubilização e absorção de nutrientes pelas plantas, limitando a formação e o crescimento do tecido, causando menor produtividade (LOBATO et al., 2020). Embora o milho seja amplamente cultivado em regiões áridas e semiáridas, o mesmo necessita de condições razoáveis de água, radiação e nutrientes para atingir boa produtividade (MENG et al., 2020; TOUNKARA et al., 2020).

Os rendimentos de  $Y_{MF}$ ,  $Y_{MS}$  e NTC da palma *O. stricta* não foram influenciados pelos tratamentos nem pelos sistemas. As plantas de *Opuntia* apresentam genótipo amplamente adaptável a diversas condições ambientais, resultando em grande plasticidade fenotípica, proporcionando o estabelecimento dessa cactácea nas mais variadas condições ambientais (ERRE et al., 2009). Além de possuírem metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) que consiste na abertura dos estômatos no período noturno, facilitando a absorção de  $CO_2$  com o mínimo de transpiração, contribuindo na eficiência do uso da água, promovendo grande produção de matéria seca em ambientes hostis (MORAES et al., 2019). De acordo com Lima et al. (2018a), estudando o consórcio entre palma-sorgo não constataram interferência da cultura secundária (sorgo) sobre as características da palma forrageira.

Os sistemas de plantio palma-milho mesmo não apresentando diferença significativa para o cultivo exclusivo da palma, apresentou ligeiro acréscimo de produtividade em  $Y_{MF}$  e  $Y_{MS}$ . Esse fato é decorrente do baixo desempenho do milho, com diminuta contribuição para

a produtividade final do sistema. Amorim et al. (2017) encontraram resultados semelhantes aos achados no presente estudo, no qual o rendimento final no cultivo palma-sorgo não diferiu do rendimento da palma em cultivo exclusivo. No entanto, Diniz et al. (2017) observaram maiores ganhos produtivos entre o consórcio de palma-sorgo em ambiente semiárido do que os seus monocultivos. Contudo, a resposta da palma pode variar em decorrência do sistema de consórcio adotado (SILVA et al., 2013).

A consorciação é uma prática promissora para o avanço dos sistemas de produção, contribuindo para otimização dos recursos, como o aumento na eficiência do uso da radiação, água e nutrientes, em decorrência dos diferentes nichos explorados pelas culturas componentes (ZHANG et al., 2019). É uma prática bastante aceita para melhorias ambientais e socioeconômicas em ambiente áridos e semiáridos, contribuindo para a segurança alimentar das populações em desenvolvimento (QIAN et al., 2018). No entanto, as respostas do sistema de produção podem apresentar distinções em decorrência das condições ambientais e das espécies utilizadas. Esse estudo pode ajudar os produtores na escolha de sistemas de produção que se adequem as suas realidades, devido o amplo conjunto de condições estudadas.

Dentro do cultivo da palma *O. stricta* em diferentes níveis de cobertura morta de palha sobre o solo, houve tendência crescente de produtividade ( $Y_{MF}$  e  $Y_{MS}$ ) com o aumento do nível de palhada (Tabela 6). A utilização de restos culturais sobre a superfície do solo é relatada como uma prática agrônômica sustentável, trazendo melhorias nas propriedades físico-químicas do solo, melhorando infiltração e distribuição da água, reduzindo as elevadas variações de temperatura, incrementando matéria orgânica, disponibilizando nutrientes às plantas e intensificando a atividade microbiana (QIU et al., 2020). Notoriamente a cobertura morta proporciona melhorias nos sistemas de produção, mas outro fator importante é a quantidade de palhada a ser utilizada, uma vez que pequenas quantidades podem acarretar em cobertura parcial do solo, não contribuindo para que todos os seus benefícios sejam atingidos (PEREIRA; MOREIRA; KLAR, 2002). À medida que aumenta a camada de palha sobre o solo diminui a incidência direta da radiação, reduzindo a temperatura e conseqüentemente a evaporação do solo, aumentando a disponibilidade de água para a transpiração da planta (WANG et al., 2018).

De acordo com Lüttge (2004), algumas plantas que possuem o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) podem proceder de forma facultativa entre metabolismo MAC na ausência de água (condições limitadas) ou como  $C_3$  quando à disponibilidade hídrica adequada, melhorando a captura de  $CO_2$ . Silva et al. (2015a) fazem menções à palma forrageira que em determinados estádios de desenvolvimento algumas de suas estruturas apresentam abertura

estomática durante o dia. Scalisi et al. (2016) enfatizam que a palma forrageira apesar de sua alta eficiência no uso da água, quando em condições adequadas de disponibilidade hídrica promovem maior transpiração e captação de CO<sub>2</sub> noturno quando comparadas a condição de deficit hídrico, favorecendo o seu desempenho. Nesse sentido, a utilização de cobertura morta em maiores níveis proporcionou ambiente promissor (e.g., maior distribuição na umidade do solo) favorecendo a atividade metabólica da palma e promovendo maiores rendimentos.

Nesse sentido a utilização do manejo integrado de práticas agronômicas é de grande importância para a melhoria produtiva dos sistemas agrícolas em ambientes motivados pela sazonalidade climática, como é o caso do semiárido brasileiro, trazendo estabilidade na produção de forragem e melhorando o seguimento agropecuário, impactando no desenvolvimento socioeconômico e ambiental do setor.

#### 4.2. Índices de concorrência

Os valores de TET<sub>t</sub> indicam que o sistema consorciado apresentou vantagens no uso da terra em relação aos seus monocultivos (Tabela 7). O sistema com uso de cobertura morta indica uma produção aumentada em 1,29 vezes. Nesse sentido, pode-se produzir a mesma quantidade que os monocultivos usando menos terra, ou possibilitando, alavancar a produção final na mesma área cultivada de monocultivo (XU et al., 2020). Apesar de apresentar satisfatórios resultados o TET<sub>t</sub> pode superestimar a resposta do consórcio, quando as culturas apresentam grande disparidade nos ciclos produtivos (DINIZ et al., 2017). Os mesmos autores indicam que esse indicador pode ser complementado pela razão de área equivalente no tempo (RAET), onde valores maiores que um indicam vantagens compensando o tempo de ciclo de cada cultura.

No presente estudo os valores de RAET refletem o positivismo do uso de consórcio palma-milheto em sistemas de produção em ambiente semiárido. Além disso, o consórcio com adoção de cobertura morta superou em 35% o cultivo sem cobertura. Diniz et al. (2017), estudando o consórcio palma-sorgo em ambiente semiárido, encontraram valores de 51% e 30% de vantagem para a TET e RAET sobre os monocultivos, respectivamente. Assim, a utilização de cobertura morta e a adoção do consórcio palma-milheto pode contribuir para maximizar a produção em ambiente semiárido sem a necessidade de expansão das fronteiras agrícolas, minimizando os impactos ambientais e contribuindo para a melhoria socioeconômica dessas localidades (GITARI et al., 2020).

Uma vantagem no sistema de produção é alcançada quando o CET supera os 25%. No presente estudo os sistemas de produção superam tal expectativa. Com o IPS foi possível igualar a produtividade de matéria seca do milho a da palma, com o consórcio palma-milho superando em 42% o monocultivo da palma.

O coeficiente de adensamento relativo (K) é uma medida usada na comparação da capacidade competitiva de cada espécie, onde valores positivos indicam maior competição interespecífica, ao passo que valores negativos demonstram maior competição intraespecífica (XU et al., 2013). O K apresentou valores negativos (Tabela 8), mostrando que o cultivo da palma sobre o milho no sistema sem cobertura morta ( $K_{ab}$ ) apresentou maior competitividade intraespecífica da palma do que interespecífica (palma-milho), ao passo que no cultivo com adoção de cobertura morta os valores foram positivos, mostrando que não houve competição intraespecífica da palma. De maneira geral, os sistemas consorciados apresentaram competição intraespecífica, sendo mais pronunciado no cultivo sem cobertura morta.

A razão de competitividade da palma forrageira ( $RC_{ab}$ ) foi superior à do milho com média de 31,47 vezes, independente do cultivo sem e com uso de palhada, demonstrando uma superioridade na habilidade competitiva da palma em relação ao milho. Valores condizentes com essa pesquisa foram observados por Diniz et al. (2017), para o consórcio palma-sorgo, com a palma superando o sorgo em mais de 16,27 vezes. Reforçando o RC o índice de agressividade (A) demonstra superioridade da palma sobre a cultura do milho. Relacionando a perda ou ganho atual de rendimento (PGAR), o cultivo de palma apresentou elevado retorno produtivo principalmente quando cultivada sob palhada, ao passo que o milho mostrou-se mais vulnerável a perda de rendimento, demonstrando que a palma é a espécie dominante do sistema (BI et al., 2019). No entanto, de acordo com os mesmos autores, o PGAR, indica vantagem no sistema intercalado em relação aos seus monocultivos.

#### 4.3. Análise econômica

O custo de produção de um hectare de forragem variou de acordo com a cultura empregada, a densidade de plantio e sistema adotado (sequeiro ou irrigado). Nosso estudo mostrou que o retorno econômico variou de acordo com a finalidade de comercialização do produto. Dentro do sistema de cultivo cobertura-irrigação-clones e lâminas de irrigação, os maiores VPLvf foram observados para o clone *O. stricta* para todos os sistemas de cultivo com média de R\$ 28.549,69 ha<sup>-1</sup> e uma TIR de média de 228,38% (Figs. 2 e 3). Mostrando que a

lucratividade foi superior aos gastos iniciais. Para as plantas de *N. cochenillifera* foram constatados muitos valores negativos, indicando que as mesmas não apresentam boa viabilidade para venda como forragem para alimentação animal.

Na modalidade de venda para sementes, o clone MIU, apresentou um retorno positivo, indicando que essa cultura apresenta melhor rentabilidade quando comercializada para a venda como cladódios “sementes”. De maneira geral, o clone IPA só apresentou resultados satisfatórios para os cultivos em sequeiro dentro da área 1 (cobertura-irrigação-clones), atribuindo aos melhores rendimentos da cultura nesses sistemas e ao baixo custo de produção das plantas em sequeiro (48% < que o sistema irrigado). Esse cenário é repetido para a área 2 (lâminas de irrigação), em que o clone IPA apresenta melhor retorno para os sistemas de sequeiro (0%ETc), os quais apresentam baixo custo de implantação para as duas modalidades de venda.

Dentro do sistema consórcio-cobertura, o maior VPL e TIR foi alcançado dentro da modalidade de venda para forragem, para o cultivo consorciado, demonstrando que a consorciação entre as plantas, além de benefícios no aproveitamento da terra e maior estabilidade na oferta de forragem, maximizam a lucratividade do sistema. No entanto o cultivo do milho exclusivo em sistemas irrigado apresenta inviabilidade econômica, quando suprido com lâminas de irrigação abaixo de suas necessidades.

O VPL<sub>vf</sub> foi crescente para o sistema de cultivo com diferentes níveis de cobertura (Fig. 5), uma vez que o aumento da cobertura de palha propiciou maiores rendimentos de massa fresca (Tabela 6), ao passo que a VPL<sub>vs</sub> se manteve com pouca flutuação devido à baixa variação na emissão de cladódios nos diferentes sistemas. A TIR apresentou o mesmo comportamento, uma vez que a mesma é interdependente do VPL (KEČA; KEČA; PANTIĆ, 2012).

O valor presente líquido juntamente com a taxa interna de retorno, representam a viabilidade de um investimento, os quais são amplamente utilizados em projetos de empresas para tomada de decisões. Esses indicadores trazem o valor presente de um investimento futuro em resposta as taxas de desconto ao longo do período avaliado. De maneira geral um projeto é considerado viável quando essas (VPL e TIR) são positivos. Normalmente são apresentados mais de uma alternativa de projeto sendo escolhido o que apresentar máximos valores para esses indicadores (PASQUAL; PADILLA; JADOTTE, 2013; MELLICHAMP, 2017; MAGNI; MARCHIONI, 2020).

O índice de lucratividade (IL) é usado para medir a aptidão econômica do projeto, ou seja, o retorno alcançado sobre o capital aplicado na instalação do projeto, mostrando a capacidade de um empreendimento em gerar lucro, assim, quanto maior o valor do IL, mais promissor é o projeto em gerar lucro (BARBIERI; CARVALHO; SABBAG, 2016). Desse modo, no presente estudo pode-se observar que os valores IL mais elevados foram atingidos pelo clone OEM, para os sistemas que não usaram de irrigação dentro da área 1 sob a condição de forragem, nessa mesma área para venda de semente o clone MIU apresentou o maior IL no sistema sequeiro com cobertura morta. Dentro da área 2 (diferentes lâminas de irrigação) os valores mais baixos foram reportados aos sistemas que investiram na irrigação.

Notoriamente os sistemas que fizeram uso de palma pertencente ao gênero *Nopalea* e irrigação na modalidade de venda de forragem apresentaram menores retornos econômicos, devido à baixa produtividade e os elevados custos de implantação do sistema, havendo a necessidade de mais ciclos produtivos para amortizar os gastos iniciais. A utilização do clone OEM se mostrou bastante promissor como potencializador do retorno econômico, principalmente quando aliado ao uso de cobertura morta.

## **5. Conclusões**

O ambiente molda as respostas das culturas, afetando o rendimento e viabilidade econômica dos sistemas de produção, principalmente em ambientes semiáridos, com elevada demanda atmosférica e grande variação espaço-temporal das chuvas, limitando o cultivo tradicional. Assim, a adoção de práticas agronômicas adequadas ajudam a melhorar o uso dos recursos disponíveis. Esse estudo avaliou as vantagens produtivas de clones de palma forrageira em condições de cobertura-irrigação-clones, lâminas de irrigação, consórcio-cobertura e níveis de cobertura morta. Dentro do sistema cobertura-irrigação-clones, ocorre maior sensibilidade das plantas ao uso de irrigação, reduzindo a produtividade e aumentando a taxa de mortalidade das plantas. Os melhores rendimentos foram alcançados pelo clone Orelha de Elefante Mexicana, e os sistemas de cultivo sequeiro e com cobertura morta de palha sobre o solo se mostraram mais promissores.

Para o sistema lâminas de irrigação, o sistema irrigado não contribuiu para o aumento do rendimento dos clones, nem para o retorno econômico das mesmas. Com a maior produtividade alcançada pelo clone Orelha de Elefante Mexicana. O sistema consórcio-cobertura melhorou a rentabilidade do sistema em relação aos seus monocultivos. O cultivo do

milheto em regime de água deficitária não é viável em períodos de elevado deficit hídrico, não possibilitando o retorno do capital investido. Para os diferentes níveis de cobertura, as plantas responderam satisfatoriamente, com incremento produtivo e retorno econômico.

De maneira geral, é aconselhável a utilização do clone Orelha de Elefante Mexicana, com maiores níveis de cobertura morta e consorciação com milheto, para promover melhor rendimento produtivo e melhorar a rentabilidade econômica em ambientes estressores. Não havendo a necessidade de irrigação em anos com elevado volume de chuva.

## 6. Referências

ALLEN, R. G.; S, P. L.; RAES, D.; MARTIN, S. Crop evapotranspiration : Guidelines for computing crop water requirements. **FAO irrigation and drainage paper: 56**, p. 1–15, 1998.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AMANULLAH; KHALID, S.; KHALIL, F.; IMRANUDDIN. Influence of irrigation regimes on competition indexes of winter and summer intercropping system under semi-arid regions of Pakistan. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–21, 2020.

AMORIM, D. M.; FREIRE DA SILVA, T. G.; DE, P.; PEREIRA, C.; BASTOS DE SOUZA, L. S.; MINUZZI, R. B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Agropec. Trop**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.

BARBIERI, R. S.; CARVALHO, J. B. de; SABBAG, O. J. Análise de viabilidade econômica de um confinamento de bovinos de corte. **Interações**, v. 17, n. 3, p. 357–369, 2016.

BARBOSA, M. L.; DA SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; E SILVA, S. M. S.; DE MORAIS, J. E. F.; ASSIS, M. C. D. S. Association of morphological and water factors with irrigated forage cactus yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 600–605, 2017.

BASAVARAJ, G.; PARTHASARATHY RAO, P.; BASU, K.; REDDY, C. R.; KUMAR, A. A.; SRINIVASA RAO, P.; REDDY, B. V. S. Assessing viability of bio-ethanol production from sweet sorghum in India. **Energy Policy**, v. 56, p. 501–508, 2013.

BATEKI, C. A.; CADISCH, G.; DICKHOEFER, U. Modelling sustainable intensification of

grassland-based ruminant production systems: A review. **Global Food Security**, v. 23, n. April, p. 85–92, 2019.

BHATTARAI, B.; SINGH, S.; WEST, C. P.; RITCHIE, G. L.; TROSTLE, C. L. Water Depletion Pattern and Water Use Efficiency of Forage Sorghum, Pearl millet, and Corn Under Water Limiting Condition. **Agricultural Water Management**, v. 238, n. March, p. 106206, 2020.

BI, Y.; ZHOU, P.; LI, S.; WEI, Y.; XIONG, X.; SHI, Y.; LIU, N.; ZHANG, Y. Interspecific interactions contribute to higher forage yield and are affected by phosphorus application in a fully-mixed perennial legume and grass intercropping system. **Field Crops Research**, v. 244, n. September, p. 107636, 2019.

CARDOSO, D. B.; CARVALHO, F. F. R. de; MEDEIROS, G. R. de; GUIM, A.; CABRAL, A. M. D.; VÉRAS, R. M. L.; SANTOS, K. C. dos; DANTAS, L. C. N.; NASCIMENTO, A. G. de O. Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 247, n. May 2018, p. 23–31, 2019.

CHEN, Y.; CHAI, S.; TIAN, H.; CHAI, Y.; LI, Y.; CHANG, L.; CHENG, H. Straw strips mulch on furrows improves water use efficiency and yield of potato in a rainfed semiarid area. **Agricultural Water Management**, v. 211, n. July 2018, p. 142–151, 2019.

DINIZ, W. J. da S.; DA SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. da S.; DOS SANTOS, D. C.; DE MOURA, M. S. B.; DE ARAÚJO, G. G. L.; ZOLNIER, S. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 724–733, 2017.

ERRE, P.; CHESSA, I.; NIEDDU, G.; JONES, P. G. Diversity and spatial distribution of *Opuntia* spp. in the Mediterranean Basin. **Journal of Arid Environments**, v. 73, n. 12, p. 1058–1066, 2009.

GITARI, H. I.; NYAWADE, S. O.; KAMAU, S.; KARANJA, N. N.; GACHENE, C. K. K.; RAZA, M. A.; MAITRA, S.; SCHULTE-GELDERMANN, E. Revisiting intercropping indices with respect to potato-legume intercropping systems. **Field Crops Research**, v. 258, n. May, p. 107957, 2020.

GONG, X.; DANG, K.; LV, S.; ZHAO, G.; TIAN, L.; LUO, Y.; FENG, B. Interspecific root interactions and water-use efficiency of intercropped proso millet and mung bean. **European**

**Journal of Agronomy**, v. 115, n. December 2019, 2020 a.

GONG, X.; FERDINAND, U.; DANG, K.; LI, J.; CHEN, G.; LUO, Y.; YANG, P.; FENG, B. Boosting proso millet yield by altering canopy light distribution in proso millet/mung bean intercropping systems. **Crop Journal**, v. 8, n. 2, p. 365–377, 2020 b.

JIMÉNEZ, M. N.; PINTO, J. R.; RIPOLL, M. A.; SÁNCHEZ-MIRANDA, A.; NAVARRO, F. B. Impact of straw and rock-fragment mulches on soil moisture and early growth of holm oaks in a semiarid area. **Catena**, v. 152, p. 198–206, 2017.

KEČA, L.; KEČA, N.; PANTIĆ, D. Net present value and internal rate of return as indicators for assessment of cost-efficiency of poplar plantations: A Serbian case study. **International Forestry Review**, v. 14, n. 2, p. 145–156, 2012.

LI, Y.; MA, L.; WU, P.; ZHAO, X.; CHEN, X.; GAO, X. Yield, yield attributes and photosynthetic physiological characteristics of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.)/maize (*Zea mays* L.) strip intercropping. **Field Crops Research**, v. 248, n. November 2019, p. 107656, 2020.

LIMA, L. R.; DA SILVA, T. G. F.; JARDIM, A. M. d. R. F.; DE SOUZA, C. A. A.; DE QUEIROZ, M. G.; TABOSA, J. N. 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 a.

LIMA, L. R.; SILVA, T. G. F. da; PEREIRA, P. C.; MORAIS, J. E. F. de; ASSIS, M. C. S. de. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 191–201, 2018 b.

LOBATO, S. M. da S.; SANTOS, L. R. dos; SILVA, B. R. S. da; PANIZ, F. P.; BATISTA, B. L.; DA SILVA LOBATO, A. K. Root-differential modulation enhances nutritional status and leaf anatomy in pigeonpea plants under water deficit. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 262, p. 151519, 2020.

LÜTTGE, U. Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). **Annals of Botany**, v. 93, n. 6, p. 629–652, 2004.

MAGNI, C. A.; MARCHIONI, A. Average rates of return, working capital, and NPV-consistency in project appraisal: A sensitivity analysis approach. **International Journal of Production Economics**, v. 229, n. April, p. 107769, 2020.

MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; GIAROLLA, A.; GAROFOLO, L. L.; SIQUEIRA JÚNIOR, J. L.; PAOLICCHI, L. T. I. C.; PINTO, G. L. N. Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21–30, 2018.

MELLICHAMP, D. A. Internal rate of return: Good and bad features, and a new way of interpreting the historic measure. **Computers and Chemical Engineering**, v. 106, p. 396–406, 2017.

MENG, X.; LIAN, Y.; LIU, Q.; ZHANG, P.; JIA, Z.; HAN, Q. Optimizing the planting density under the ridge and furrow rainwater harvesting system to improve crop water productivity for foxtail millet in semiarid areas. **Agricultural Water Management**, v. 238, n. May 2019, p. 106220, 2020.

MOGHBELI, T.; BOLANDNAZAR, S.; PANAHANDE, J.; RAEI, Y. Evaluation of yield and its components on onion and fenugreek intercropping ratios in different planting densities. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 634–641, 2019.

MORAES, G. S. de O.; GUIM, A.; TABOSA, J. N.; CHAGAS, J. C. C.; ALMEIDA, M. de P.; FERREIRA, M. de A. 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, p. 133–138, 2019.

MORAIS, J. E. F.; SILVA, T. G. F.; QUEIROZ, M. G.; ARAUJO, G. G. L.; MOURA, M. S. B.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 273–278, 2017.

NDIRITU, S. W. Beef value chain analysis and climate change adaptation and investment options in the semi-arid lands of northern Kenya. **Journal of Arid Environments**, v. 181, n. May, p. 104216, 2020.

NUNES, B.; BENNETT, D.; MARQUES, S. Sustainable agricultural production: An investigation in Brazilian semi-arid livestock farms. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 414–425, 2014.

OLIVEIRA, F. T. de; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P. da; FILHO, F. C. de A.; JÚNIOR, E. B. P. Palma Forrageira: Adaptação E Importância Para Os Ecossistemas Áridos E Semiáridos.

**Revista Verde**, v. 5, n. 4, p. 27–37, 2010.

OSANI, T. O.; ALIYU, I. G. Effect of row arrangements on sorghum-cowpea intercrops in the semi arid savannah of Nigeria. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 12, n. 1, p. 137–140, 2010.

PASQUAL, J.; PADILLA, E.; JADOTTE, E. Technical note: Equivalence of different profitability criteria with the net present value. **International Journal of Production Economics**, v. 142, n. 1, p. 205–210, 2013.

PAUL, P. L. C.; BELL, R. W.; BARRETT-LENNARD, E. G.; KABIR, E. Straw mulch and irrigation affect solute potential and sunflower yield in a heavy textured soil in the Ganges Delta. **Agricultural Water Management**, v. 239, n. December 2019, p. 106211, 2020.

PEREIRA, A. L.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E. Efeito de níveis de cobertura do solo sobre a manejo da irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* J.). **Revista Irriga**, v. 7, n. 1, p. 42–52, 2002.

PEREIRA, P. de C.; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; MORAIS, J. E. F. de; SANTOS, D. C. dos. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. Julho, p. 184–195, 2015.

QIAN, X.; ZANG, H.; XU, H.; HU, Y.; REN, C.; GUO, L.; WANG, C.; ZENG, Z. Field Crops Research Relay strip intercropping of oat with maize , sun fl ower and mung bean in semi-arid regions of Northeast China : Yield advantages and economic bene fi ts. **Field Crops Research**, v. 223, n. April, p. 33–40, 2018.

QIU, Y.; LV, W.; WANG, X.; XIE, Z.; WANG, Y. Long-term effects of gravel mulching and straw mulching on soil physicochemical properties and bacterial and fungal community composition in the Loess Plateau of China. **European Journal of Soil Biology**, v. 98, n. May, p. 103188, 2020.

QUEIROZ, M. G. de; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. e; LIMA, L. R.; ALVES, J. de O. 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.

R CORE TEAM, 2019. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

SANTOS, R.; NEVES, A. L.; PEREIRA, L. G.; VERNEQUE, R.; COSTA, C. T.; TABOSA, J.; SCHERER, C.; GONÇALVES, L. Divergence in agronomic traits and performance of pearl millet cultivars in Brazilian semiarid region. **Grassland Science**, v. 63, n. 2, p. 118–127, 2017.

SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; LO BIANCO, R. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158–167, 2016.

SHARMA, V.; IRMAK, S. Economic comparisons of variable rate irrigation and fertigation with fixed (uniform) rate irrigation and fertigation and pre-plant fertilizer management for maize in three soils. **Agricultural Water Management**, v. 240, n. February, p. 106307, 2020.

SILVA, D.J., QUEIROZ, A.C. Análise de alimentos: Método químicos e biológicos. 3. Ed. Minas Gerais: UFV, 2005. 225 p.

SILVA, G. dos S.; OLIVEIRA, R. A. de; QUEIROZ, N. L.; SILVA, M. N. B. da; SOUSA, M. F. de; SILVA, S. A. da. Desempenho agrônômico de algodão orgânico e oleaginosas consorciados com palma forrageira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 975–981, 2013.

SILVA, J. L. B. da; MOURA, G. B. de A.; SILVA, M. V. da; LOPES, P. M. O.; GUEDES, R. V. de S.; SILVA, Ê. F. de F. e.; ORTIZ, P. F. S.; RODRIGUES, J. A. de M. Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, n. June, 2020.

SILVA, T. G. F. da; PRIMO, J. T. A.; MOURA, M. S. B. de; SILVA, S. M. S. e; MORAIS, J. E. F. de; PEREIRA, P. de C.; SOUZA, C. A. A. de. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515–525, 2015 a.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MORAIS, J. E. F. de; DINIZ, W. J. da S.; SOUZA, C. A. A. de; SILVA, M. da C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10–18, 2015 b.

TOUNKARA, A.; CLERMONT-DAUPHIN, C.; AFFHOLDER, F.; NDIAYE, S.; MASSE,

- D.; COURNAC, L. Inorganic fertilizer use efficiency of millet crop increased with organic fertilizer application in rainfed agriculture on smallholdings in central Senegal. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 294, n. May 2019, 2020.
- VIEIRA, R. M. S. P. *et al.* Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, v. 6, p. 347–360, 2015.
- WANG, J.; ZHANG, Y.; GONG, S.; XU, D.; JUAN, S.; ZHAO, Y. Evapotranspiration, crop coefficient and yield for drip-irrigated winter wheat with straw mulching in North China Plain. **Field Crops Research**, v. 217, n. May 2017, p. 218–228, 2018.
- XU, B. C.; XU, W. Z.; GAO, Z. J.; WANG, J.; HUANG, J. Biomass production, relative competitive ability and water use efficiency of two dominant species in semiarid Loess Plateau under different water supply and fertilization treatments. **Ecological Research**, v. 28, n. 5, p. 781–792, 2013.
- XU, Z.; LI, C.; ZHANG, C.; YU, Y.; VAN DER WERF, W.; ZHANG, F. Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 246, n. 2, p. 107661, 2020.
- YAVUZ, D.; YAVUZ, N.; SEYMEN, M.; TÜRKMEN, Ö. Evapotranspiration, crop coefficient and seed yield of drip irrigated pumpkin under semi-arid conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 197, n. 1, p. 33–40, 2015.
- ZHANG, Y.; DUAN, Y.; NIE, J.; YANG, J.; REN, J.; VAN DER WERF, W.; EVERS, J. B.; ZHANG, J.; SU, Z.; ZHANG, L. A lack of complementarity for water acquisition limits yield advantage of oats/vetch intercropping in a semi-arid condition. **Agricultural Water Management**, v. 225, n. April, p. 105778, 2019.

## Considerações finais

A palma forrageira apresentou declínio de desenvolvimento e produtividade, refletindo no retorno econômico, quando exposta a grandes volumes de água, não recomendando o uso de irrigação em anos com precipitação média superior a 600 mm.

A utilização de cobertura morta em quantidades superiores a 10 Mg ha<sup>-1</sup> promove bons resultados produtivos na cultura da palma forrageira. Recomendando-se a utilização de restos culturais provenientes de vegetação espontânea, para redução de custos com esse material.

As plantas pertencentes ao gênero *Opuntia*, respondem melhor ao uso de cobertura morta, com maior retorno econômico para a venda de forragem, sendo recomendado o clone *Opuntia strict* (Orelha de Elefante Mexicana) para essa finalidade. Já as plantas de *Nopalea* (IPA-Sertânia e Miúda) apresentaram melhor viabilidade na venda de cladódios para sementes.

No entanto, uma maior atenção deve ser dada aos sistemas de produção de palma forrageira e outras culturas de interesse pecuário visando a adequação dessas as realidades das comunidades produtores no semiárido brasileiro. Pesquisas devem ser realizadas no mesmo âmbito desse estudo, visando cenários mais próximos da realidade, uma vez que o estudo sucedeu-se em anos com precipitação atípica para a região.