

Cultivo de plantas forrageiras de apelo regional para o Semiárido brasileiro sob a perspectiva de técnicas agrometeorológicas para melhoria da resiliência: uma revisão

Cultivation of forage plants of regional appeal to the Brazilian Semiarid from the perspective of agrometeorological techniques to improve resilience: a review

Cultivo de plantas forrajeras de atractivo regional para el semiárido brasileño desde la perspectiva de técnicas agrometeorológicas para mejorar la resiliencia: una revisión

Recebido: 08/09/2020 | Revisado: 15/09/2020 | Aceito: 19/09/2020 | Publicado: 20/09/2020

Gabriel Italo Novaes da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5551-1620>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: gabrielitalo.novaes@gmail.com

Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7094-3635>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: alexandremrfj@gmail.com

Hygor Kristoph Muniz Nunes Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2955-8262>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: hygorkristoph22@gmail.com

Marcondes de Sá Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4944-4887>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: marcondes.sa33@gmail.com

Carlos André Alves de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1946-0421>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: carlosandre08_@msn.com

George do Nascimento Araújo Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9284-4160>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: georgearaujo.agro@gmail.com

Cleber Pereira Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8796-6945>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: cleberp.alves@hotmail.com

Antonio Gebson Pinheiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5912-6906>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: gebson10@hotmail.com

Kaique Renan da Silva Salvador

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6119-2865>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: kaiquersalvador@outlook.com

Renan Matheus Cordeiro Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8454-8660>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: renanmatheuscl@gmail.com

Sidney Anderson Teixeira da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5137-780X>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: sidneyeng.agro@outlook.com

Marcelo José da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9706-5983>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: marcelosilva145@hotmail.com

Thieres George Freire da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8355-4935>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: thigeoprofissional@hotmail.com

Resumo

A baixa disponibilidade de forragem devido à escassez hídrica e o efeito das mudanças climáticas são problemas enfrentados pelos produtores rurais das regiões semiáridas. Para contornar esses efeitos, pesquisas mostram a importância da utilização de espécies que sejam

adaptadas às condições ambientais. Dentre essas espécies, a palma forrageira é um importante alimento para dietas de ruminantes, de alta aceitabilidade, rico em energia e alto teor de água, além da sua implantação no campo ser de baixo custo. O milho é uma outra espécie usada, pois apresenta tolerância aos estresses hídrico e salino, além de ser um alimento útil para suplementação junto com a palma forrageira. O emprego de práticas agrícolas como irrigação, cobertura morta e consorciação pode auxiliar no sistema de produção dessas culturas. Além disso, a aplicação de parâmetros agrometeorológicos são relevantes para garantir o melhor planejamento e a tomada de decisão agrícola. Nesta revisão, objetivou-se abordar práticas agronômicas, análises estatísticas e indicadores agrometeorológicos empregados em pesquisas voltadas às culturas da palma forrageira e do milho em sistemas de produção. Pesquisas foram feitas nas bases bibliográficas da Scopus, ScienceDirect, Mendeley e Google Scholar. As práticas agrícolas uso mínimo de irrigação, cobertura morta e consorciação são essenciais nos sistemas de cultivo da palma forrageira e do milho. Em conjunto ao manejo dessas culturas, o uso de indicadores agrometeorológicos atrelados à análise multivariada permite o melhor planejamento e tomada de decisão na produção.

Palavras-chave: *Opuntia*; *Nopalea*; Irrigação; Cobertura morta; *Pennisetum glaucum*.

Abstract

The low availability of forage due to water scarcity and the effect of climate change are problems faced by rural producers in semiarid regions. To circumvent these effects, research shows the importance of using species that are adapted to environmental conditions. Among these species, forage cactus is an important food for ruminant diets, highly acceptable, rich in energy, and high water content, in addition to its low-cost implantation in the field. Millet is another species used, as it has tolerance to water and salt stresses, in addition to being a useful food for supplementation along with forage cactus. The use of agricultural practices such as irrigation, mulch and intercropping can assist in the production system of these crops. In addition, the application of agrometeorological parameters is relevant to ensure the best planning and agricultural decision-making. In this review, the objective was to address agronomic practices, statistical analysis, and agrometeorological indicators used in research aimed at forage cactus and millet crops in production systems. The research was carried out in the bibliographic bases of Scopus, ScienceDirect, Mendeley, and Google Scholar. Agricultural practices minimum use of irrigation, mulch, and intercropping are essential in the cultivation systems of forage cactus and millet. In conjunction with the management of these

cultures, the use of agrometeorological indicators linked to multivariate analysis allows for better planning and decision making in production.

Keywords: *Opuntia*; *Nopalea*; Irrigation; Mulch; *Pennisetum glaucum*.

Resumen

La baja disponibilidad de forrajes debido a la escasez de agua y el efecto del cambio climático son problemas que enfrentan los productores rurales de las regiones semiáridas. Para eludir estos efectos, la investigación muestra la importancia de utilizar especies adaptadas a las condiciones ambientales. Entre estas especies, el nopal forrajero es un alimento importante para la dieta de los rumiantes, altamente aceptable, rico en energía y alto contenido en agua, además de su bajo costo de implantación en el campo. El mijo es otra especie utilizada, ya que tiene tolerancia al estrés hídrico y salino, además de ser un alimento útil para suplementar junto con el nopal forrajero. El uso de prácticas agrícolas como riego, mantillo y cultivos intercalados puede ayudar en el sistema de producción de estos cultivos. Además, la aplicación de parámetros agrometeorológicos es relevante para asegurar la mejor planificación y toma de decisiones agrícolas. En esta revisión, el objetivo fue abordar prácticas agronómicas, análisis estadístico e indicadores agrometeorológicos utilizados en investigaciones dirigidas a cultivos nopal forrajera y mijo en sistemas de producción. La investigación se realizó en las bases bibliográficas de Scopus, ScienceDirect, Mendeley y Google Scholar. Las prácticas agrícolas, el uso mínimo de riego, mantillo y cultivos intercalados son esenciales en los sistemas de cultivo del nopal forrajero y el mijo. Junto al manejo de estos cultivos, el uso de indicadores agrometeorológicos vinculados al análisis multivariado permite una mejor planificación y toma de decisiones en la producción.

Palabras clave: *Opuntia*; *Nopalea*; Riego; Mantillo; *Pennisetum glaucum*.

1. Introdução

Em decorrência das mudanças climáticas no planeta, estudos sobre essa temática têm sido crescentes, como uma forma de reduzir os impactos socioeconômicos (Félix et al., 2020; Pereira & Nascimento, 2020). No Brasil, especificamente na região Nordeste, a variabilidade das condições meteorológicas é expressiva devido ao clima local ser predominantemente do tipo semiárido, apresentando elevada demanda atmosférica, baixa precipitação pluviométrica, assim como má distribuição ao longo do ano, o que gera escassez hídrica (Pereira et al., 2015; Hussain et al., 2018).

Nessa região, a produção agropecuária utiliza baixo grau de tecnificação, o que reduz a produtividade das culturas e também a oferta de alimentos para os animais (Angelotti, Fernandes Júnior & Sá, 2011; Marro & Morim, 2017). Com isso, a utilização de diferentes práticas agrícolas, e.g., espécies adaptadas, uso mínimo de irrigação, adoção de cobertura morta, consórcio, entre outras, são alternativas fundamentais para o convívio com as adversidades climáticas (Souza et al., 2019).

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é uma cultura empregada na alimentação animal, por ser adaptada às condições edafoclimáticas do semiárido, devido as suas características anatômicas, fisiológicas e morfológicas (Pereira et al., 2015). A presença do metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) proporciona uma maior eficiência do uso da água e manutenção do turgor celular, além de ser uma planta rica em energia e minerais (Moraes et al., 2019). Porém, o seu uso na alimentação não deve ser de forma exclusiva, por oferecer baixo teor de fibra, sendo assim, a utilização de gramíneas forrageiras como o *Pennisetum glaucum* (milheto) é de grande importância para complemento alimentar dos ruminantes, além de exibir boa adaptação (Diniz et al., 2017; Lira et al., 2020).

Mesmo que essas culturas apresentem adaptações intrínsecas, o uso de irrigação com o seu uso mínimo se faz necessário para proporcionar o melhor desenvolvimento, já que a água é um fator limitante para a produção agrícola (Queiroz et al., 2016; Kankarla et al., 2019). Em conjunta com essa prática, a adoção de cobertura permite vantagens ao produtor, por reduzir a temperatura da superfície do solo e perdas de água por evaporação, aumento da infiltração de água, redução de erosão, além de inibir o crescimento de plantas invasoras (Gao et al., 2019; Ibrahim et al., 2020; Wang et al., 2020a). Devido às limitações de áreas agricultáveis, a consorciação pode ser uma estratégia para regiões áridas e semiáridas, por proporcionar maior eficiência dos recursos naturais, além de promover melhorias nas propriedades do solo e redução de pragas e doenças (Hong et al., 2019; Li et al., 2019; Wang et al., 2020b).

Para garantir o melhor planejamento e tomada de decisão agrícola, a aplicação de parâmetros morfométricos e, ou, indicadores agrometeorológicos na produção agrícola é de grande valia, pois são ferramentas relevantes que permitem indicar os manejos mais adequados e quando combinados a técnicas estatísticas facilitam o entendimento das respostas das plantas. Entre essas técnicas, as análises de características estruturais e morfogenéticas permite entender a ecofisiologia da planta, exibindo diferentes padrões de respostas sobre o crescimento, desenvolvimento e rendimento das culturas associados aos diferentes manejos (Silveira et al., 2010; Cunha et al., 2012; Tenório et al., 2017).

Em decorrência do grande quantitativo de dados coletados em campos de sistemas agrícolas e das características das plantas, faz-se necessária a aplicação de estatísticas multivariadas, visando a simplificação dessas informações em variáveis categóricas. Poucos estudos foram conduzidos para culturas como a palma e o milho com essa temática (Neder et al., 2013; Ghatak et al., 2016; Amani et al., 2019). Dentre as técnicas de estatística multivariadas, a análise de componentes principais é uma ferramenta muito útil para agrupamento de dados, possibilitando a redução do conjunto de dados em componentes principais e correlacionadas (Silva & Sbrissia, 2010; Xiang et al., 2019).

Nesta revisão, foram discutidos aspectos conceituais associados à sistemas de produção no Semiárido brasileiro, práticas agrônômicas, análises estatísticas e indicadores agrometeorológicos a serem usados em estudos para as culturas da palma forrageira e do milho.

2. Metodologia

A elaboração desta revisão de literatura foi realizada com base em trabalhos de periódicos pesquisados em diversas bases bibliográficas como Scopus, ScienceDirect, Mendeley e Google Scholar, prezando a qualidade do material com trabalhos em idiomas português e inglês (Pereira et al., 2018) das áreas de Ciências Agrárias, Zootécnicas e áreas afins. Com intuito de ampliar a busca dos trabalhos foram utilizadas palavras-chave como “milho”, “*Nopalea*”, “*Opuntia*”, “palma forrageira”, “*Pennisetum*”, “Semiárido”, “sistemas de cultivo”, “agrometeorologia”, “cactos”, “mudança climática”, “culturas resilientes”, “foragem”, “consórcio”, “irrigação”, “pecuária”, “monocultivo”, “cobertura morta” e “escassez hídrica”, combinados com os termos booleanos “e” e “ou”, em ambos os idiomas.

3. Revisão de Literatura

3.1 Semiárido brasileiro (SAB): mudanças climáticas e seus impactos

Diante do cenário de mudanças climáticas é bem provável que o aumento das temperaturas médias do ar e modificações nos padrões das precipitações em algumas regiões promovam agravos socioeconômicos significativos, por causa da alteração da disponibilidade dos recursos hídricos, os quais impactam diretamente a biodiversidade e a produção agrícola (Tavares, Arruda & Silva, 2019; Félix et al., 2020; Pereira & Nascimento, 2020).

Eventos de seca e escassez hídrica estão ocorrendo em todo o planeta devido a essas mudanças climáticas, afetando sobretudo regiões áridas e semiáridas, contribuindo para o processo de desertificação. Essas regiões correspondem cerca de 55% da área terrestre do mundo, e é habitada por cerca de 400 milhões de pessoas (Ministério da Integração, 2017; Hussain et al., 2018).

No Brasil, segundo a SUDENE (2017), a região semiárida ocupa uma área de 1.127.953 km² do território nacional, abrangendo grande parte da região Nordeste, constituída pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, além do Norte de Minas Gerais (região Sudeste), com cerca de 1.262 municípios, povoados por quase 28 milhões de habitantes, sendo grande parte de sua vocação econômica pertencente ao setor agropecuário (Diniz et al., 2017).

Essa região segundo a classificação climática de Köppen apresenta três tipos de clima: BShw – semiárido, com chuvas concentradas nos meses de dezembro e janeiro; o BSw – semiárido, com estação chuvosa no verão-outono, com concentração nos meses de março e abril; e, BShs – semiárido, com chuvas no outono e inverno concentrada nos meses de maio e junho (Alves et al., 2018). Em geral, apresenta um regime pluviométrico que varia de 350 a 800 mm ao longo do ano, a depender do local (Ferreira et al., 2009; Medeiros et al., 2015; Queiroz et al., 2020a). Além disso, temperaturas do ar elevada (entre 20,1 e 32,9 °C), umidade relativa do ar com média de 60%, demanda atmosférica de 2.000 mm ano⁻¹ (Silva et al., 2014; Pereira et al., 2015) e índice de aridez de Thornthwaite abaixo de 0,50 (Thornthwaite, 1948). Em decorrência das características dessa região, juntamente com as mudanças climáticas, existe um aumento dos eventos extremos de seca e calor (Souza et al., 2019).

De acordo com o quinto relatório de avaliação do International Panel on Climate Change (IPCC, 2014), o Semiárido brasileiro é uma das regiões mais acometidas pelo efeito das mudanças climáticas, resultando em uma aridização em função de eventos extremos como as secas, com maior frequência e intensidade, e diminuição dos recursos hídricos. Segundo Tavares, Arruda & Silva (2019), a seca é um fenômeno natural ocasionado em um período de tempo, no qual há uma baixa precipitação pluviométrica, resultando em um desequilíbrio no ciclo hidrológico, sendo o setor agrícola um dos setores mais afetados, já que prejudica o desenvolvimento, crescimento e produtividade das plantas (Félix et al., 2020).

Ao longo da história foram registrados cerca de 174 eventos de secas no Semiárido brasileiro do século XVI ao século XX, podendo citar a seca de 1877-1879, que reduziu à metade da população e quase todo o rebanho bovino (Nys, Engle & Magalhães, 2016; Tavares, Arruda & Silva, 2019). Já no século XXI são relatadas a ocorrência de mais cinco

secas de 2001-2010, acrescentando ainda as secas nos anos de 2012-2016, na qual é marcada como uma das maiores secas nos últimos trinta anos (Martins & Magalhães, 2015). Segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, o clima da região Nordeste é bastante influenciado por fenômenos atmosférico, como o El Niño, causando reduções na precipitação pluviométrica (Nys, Engle & Magalhães, 2016; Costa et al., 2020); além de sofrer influências das temperaturas da superfície do Oceano Atlântico. Alvalá et al. (2017) relatam que no ano de 2015-2016, a seca no Nordeste atingiu cerca de 50% de área de 923 municípios, ocasionando prejuízos principalmente nos estados da Bahia e Ceará.

Esses eventos extremos de secas têm causado graves prejuízos sociais (i.e., aumento de desemprego e fome), econômicos (i.e., quedas na produção agrícola e redução da pecuária) e ambientais. Conforme o relatório do Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia de Defesa Civil (CEPED, 2019), no ano de 1995 a 2014, foram estimados no Brasil perdas da ordem de R\$ 100 bilhões, causados por desastres naturais devido a mudanças climáticas, onde 75% estava diretamente ligada a eventos de secas e estiagens. Desse total, cerca de R\$ 47 bilhões foi oriundo diretamente da região Nordeste, nos setores de agricultura, pecuária, indústria e serviços (Almeida et al., 2020). Já a FAO (2017) relata que até 2050 poderão haver perdas de 20% da produção agrícola no mundo, aumentando a fome, a desnutrição e o êxodo rural, devido à baixa segurança alimentar.

3.2 Produção agropecuária do semiárido brasileiro

Na região semiárida brasileira, grande parte da população realiza atividades agrícolas com dependências dos recursos naturais, por exemplo a agricultura de sequeiro (i.e., sem utilização de irrigação artificial, com dependência de água dos eventos de chuva), e com baixo grau de tecnificação (Angelotti, Fernandes Júnior & Sá, 2011). Em função da variabilidade climática ocorre uma redução da produtividade, devido a baixa disponibilidade hídrica, sendo este um fator limitante na produção agrícola (Marra & Morin, 2017). De acordo com o Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2017), essa região exibe uma área de produção agropecuária de 52.780.091 hectares, com média de 29 hectares por propriedade, podendo chegar a 40 hectares; sendo as terras distribuídas entre pastagens com 39,61%, florestas ou matas 29,04%, sistemas agroflorestais 14,43%, lavouras 11,44% e outros cultivos com 5,49%.

Para a agricultura, além da oscilação da precipitação pluviométrica, os cultivos também são afetados pelas características do solo. De acordo com Araújo (2011), os solos

formados nessa região, em geral, são pouco desenvolvidos (pouco profundos) e com minerais primários, devido ao diminuto processo de intemperismo, que promovem pequena retenção de água e rápida saturação, acarretando em processos erosivos. Essas características aliadas a escassez de chuvas favorecem para um balanço hídrico negativo na maior parte do ano, onde a evapotranspiração potencial é maior do que a reposição de água da chuva e a capacidade de retenção de água pelo solo (Araújo, 2011), interferindo no crescimento e desenvolvimento das plantas (Pedrotti et al., 2015).

Na pecuária, por causa do cenário de baixa disponibilidade hídrica, a produção de forragem para alimentação dos rebanhos é parcialmente comprometida, uma vez que, a maior concentração de massa de forragem é no período chuvoso (Gusha et al., 2015). A região Nordeste, especialmente o semiárido brasileiro concentra uma população de 90% do rebanho de caprinos e 65% do rebanho de ovinos do país, com 7,6 e 9 milhões de cabeça, respectivamente (EMBRAPA, 2018), onde a alimentação está voltada a plantas forrageiras presentes na caatinga e forrageiras cultivadas. Nesse meio, as formas de criação dos animais são de maneira extensiva, em que esses animais são soltos e se alimentam da vegetação nativa, ou de forma semiextensiva que usam plantas forrageiras cultivadas e nativas para alimentação animal (Souza et al., 2019).

A vegetação da Caatinga é constituída de estratos herbáceos, arbustivos e arbóreos, geralmente com espinhos e caducifólia, que permitem as plantas economizarem no uso da água (Santos et al., 2010; Queiroz et al., 2019; Queiroz et al., 2021). A sua massa seca (MS) de forragem pode variar a depender do tipo de vegetação e da estação do ano, sendo a produção de biomassa geralmente baixa ($< 5 \text{ t de MS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Dubeux Júnior et al., 2015). Além disso, as espécies mais desenvolvidas tendem a apresentar uma maior quantidade de lignina, baixo teor de proteína bruta (PB) e altos teores de fibra em detergente neutro e ácido (FDN e FDA, respectivamente), que reduzem a digestibilidade de nutrientes (Souza et al., 2013a).

Segundo Souza & Pacheco (2019), as plantas forrageiras nativas mais utilizadas para alimentação de pequenos ruminantes durante estiagens são *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Caatingueira), *Bromelia laciniosa* Mart. ex Shult. (Macambira), *Melocactus zehntneri* (Britton & Rose) Luetzelb. (Coroa-de-frade), *Pilosocereus pachycladus* Ritter (Facheiro), *Ziziphus joazeiro* Mart. (Juazeiro) e *Cereus jamacaru* DC. (Mandacaru). Souza et al. (2013b) observaram que algumas espécies da Caatinga podem sim ser usadas na alimentação de ruminantes, por exibem alto teor de proteína bruta (PB) ($> 7\%$ de PB), por exemplo, 27,3%, 26,62%, 18,67% e 7,40% da MS para *Caesalpinia pyramidalis* Tul., *Bursera leptophloeos*

Mart., *Maytenus rigida* Mart. e *Ceiba glazovii* (Kuntze) K.Schum., nessa ordem, que proporciona o crescimento da microflora do rúmen.

3.3 Práticas de resiliência agrícola adotadas no semiárido brasileiro

Para garantir o sucesso da produção agrícola em regiões áridas e semiáridas, faz-se necessário a utilização de práticas para melhoria da resiliência agrícola. Segundo Sentelhas & Monteiro (2009), a resiliência agrícola está atrelada à adoção de alternativas, que proporcionam melhores convivências com os acontecimentos adversos, seja de fator biótico (pragas e herbívoros) ou abiótico, como elevadas temperaturas, déficit hídrico, efeitos da desertificação. A utilização dessas práticas pode proporcionar um melhoramento do planejamento agrícola e da tomada de decisão. São inúmeras essas práticas, dentre elas pode-se citar: uso de espécies que sejam tolerantes a condições edafoclimáticas; associação de cultivos em uma única área para o melhor aproveitamento da terra (cultivos mistos e consórcio); diferentes densidades de plantio; uso mínimo de irrigação, minimizando as perdas por estresse hídrico; adoção de cobertura morta sobre a superfície do solo; controle de pragas, doenças e ervas daninhas; e correção de deficiências nutricionais (Souza et al., 2019; Jardim et al., 2019).

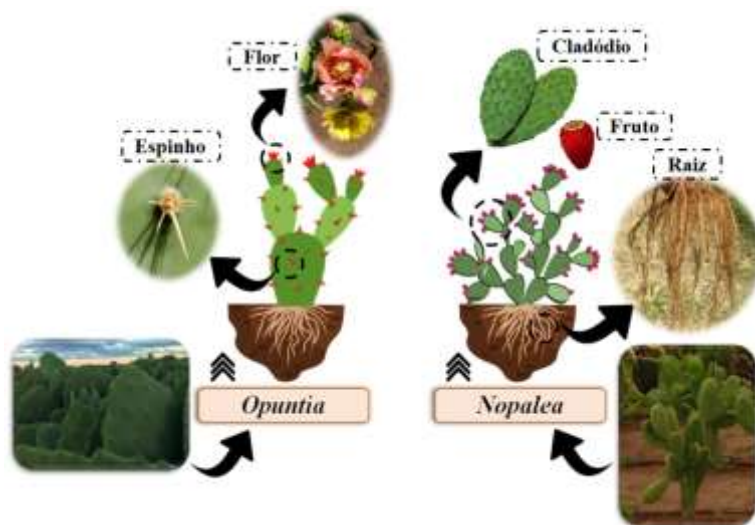
3.3.1 Espécies adaptadas como estratégia de produção: palma forrageira e milho

Diante das condições edafoclimáticas do semiárido, sobretudo a baixa disponibilidade de água, a oferta de forragem é comprometida, onde se faz necessário o uso de espécies adaptadas para garantir a segurança alimentar dos rebanhos (Gusha et al., 2015). Dentre as espécies, tem-se a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), onde o seu cultivo vem aumentando, a exemplo do Norte da África (Mahouachi, Atti & Hajji, 2012) e da região Nordeste do Brasil (Lins et al., 2016). A sua utilização se dá desde a implantação em áreas com riscos de desertificação (Queiroz et al., 2020b), assim como para a alimentação de ruminantes, devido à alta eficiência de energia e por apresentar um alto rendimento de biomassa e alta eficiência do uso da água (Moraes et al., 2019).

A palma forrageira (Figura 1) é uma cultura que pertence ao Reino: Plantae; Divisão: Embryophyta; Subdivisão: Angiosperma; Classe: Dicotiledôneas; Subclasse: Archiclamideae;

Ordem: Opuntiales; e Família: Cactaceae (Marques et al., 2017; Jardim et al., 2020a). Tem sua origem no México, sendo encontrada também na América do Sul e Central, na África e também em áreas do Mediterrâneo (Aragona et al., 2017). No mundo, estima-se que a área plantada seja de 1 milhão de hectares, com produção destinada a alimentação humana e forragem. No Brasil, essa área encontra-se em torno de 600 mil hectares (Cardador-Martínez et al., 2011; Dubeux Júnior et al., 2013), sendo a região Nordeste coberta por aproximadamente 500 mil hectares (Santos et al., 2006).

Figura 1. Gêneros de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) com suas partes constituintes vegetativas e reprodutivas. Fonte: Os autores.



Fonte: Os autores.

Em áreas áridas e semiáridas, as características morfológicas, fisiológicas e anatômicas da palma a conferem maior produtividade (Pereira et al., 2015); apresentando cutículas espessas (reduzindo a perda de água e a entrada de fitopatógenos), vacúolos grandes (armazenar maior quantidade de água) e um metabolismo fotossintético MAC (Mecanismo Ácido das Crassuláceas), onde os estômatos ficam fechados no período diurno e se abrem à noite para a captação do CO₂ atmosférico, reduzindo assim a perda de água por transpiração; além de apresentar modificações das folhas em espinhos, caule suculento, bem como sistema radicular adaptado (Souza et al., 2019; Jardim et al., 2020a).

Na região semiárida são cultivados principalmente espécies do gênero *Nopalea* o clone Miúda e IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e do gênero *Opuntia*, a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), por serem tolerantes/resistentes à cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell; Hemiptera: Dactylopiidae) (Falcão

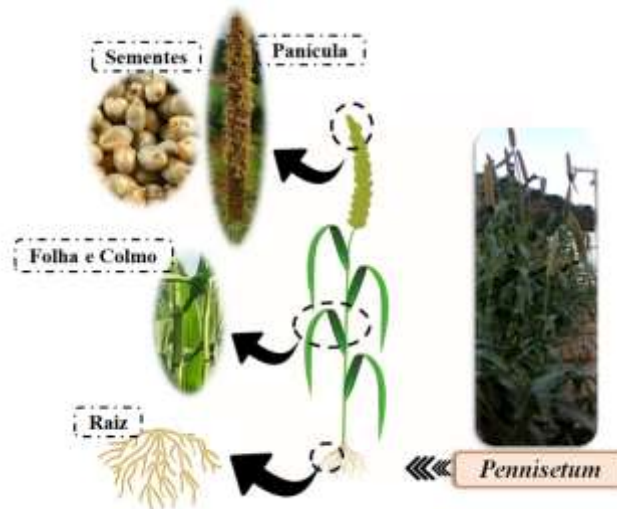
et al., 2013; Jardim et al., 2020a). Por ser uma cultura semiperene com colheita bienal (em condições de sequeiro), a palma pode sofrer alterações no crescimento e desenvolvimento, devido alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente (Silva et al., 2015).

Essa cultura exibe um baixo teor de MS e PB, em torno de 10% e 4 a 5% da MS, respectivamente, sendo necessário a suplementação proteica para proporcionar melhor funcionamento da microfauna do rúmen, já que pode ocasionar diarreia devido à baixa quantidade de fibra (Diniz et al., 2017; Marques et al., 2017). Exibe alta aceitabilidade, elevado teor de carboidratos não fibrosos e um alto teor de energia digerível. De acordo com Marques et al. (2017), a composição de carboidratos da palma forrageira para bovinos tem uma grande vantagem nutricional, pois são mais degradáveis pelo rúmen e favorece no ganho energético contribuindo na produção de carne e de leite dos animais.

Estudos são crescentes quanto ao tema voltado para a alimentação de ruminantes utilizando a palma. Cardoso et al. (2019), adotando diferentes níveis de inclusão de palma do clone Miúda na alimentação de cordeiros, chegaram à conclusão de que até 450 g kg⁻¹ de MS melhora a eficiência microbiana do rúmen e possibilita uma redução na ingestão de água. Já para Moraes et al. (2019), a substituição da silagem de milho pela palma forrageira resultou em aumento da produção de leite, mas não havendo alterações na sua qualidade, como no teor de gordura e de proteína, chegando à recomendação na dieta de vacas leiteiras composta de 366 g kg⁻¹ de MS de palma forrageira do clone Orelha de Elefante Mexicana; 290 g kg⁻¹ de silagem de milho e 344 g kg⁻¹ de concentrados proteico. Mesmo com essas respostas positivas, a palma não deve ser fornecida exclusivamente, devendo ter uma cultura que complemente o teor de fibra e que tenha bom desempenho na região semiárida, como é o caso de algumas gramíneas forrageiras.

O *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. (milheto forrageiro) (Figura 2), por exemplo, pertencente à família Poaceae é o sexto cereal tropical de maior importância econômica depois do trigo, arroz, milho, sorgo e cevada, sendo amplamente cultivados em regiões áridas e semiáridas, como na África e Índia (Ullah et al., 2017; Ausiku et al., 2020). É usada na alimentação humana e como forragem para o gado, já que tem altos níveis de energia, maior teor de proteínas, minerais essenciais e vitaminas (Jukanti et al., 2016; Bello, Walker & Tesfuhoney, 2019). É uma espécie de metabolismo C₄, exibindo assim uma maior eficiência do uso da água em relação a outros cereais tropicais (Shanableh et al., 2016), além de apresentar uma maior adaptação a altas temperaturas, ser tolerante a seca, a solos ácidos, salinos e de baixa fertilidade, e ter boa resistência a pragas e doenças (Jukanti et al., 2016; Bernard & Tao, 2020; Lira et al., 2020).

Figura 2. Cultura do milho (*Pennisetum* sp.) e suas partes constituintes vegetativas e reprodutivas.



Fonte: Os autores.

Essa gramínea é de ciclo anual curto variando entre 75 a 120 dias, a depender da variedade e das condições edafoclimáticas da região. Apresenta crescimento ereto com uma altura de 1,5 a 3,0 m; sua raiz é fasciculada, podendo exibir raízes aéreas para servir de suporte; o caule é do tipo colmo com 1 a 2 cm de diâmetro, constituídos de nós e entrenós; as folhas são longas e pontiagudas; a inflorescência é denominada de panícula, com formato cilíndrico, cônico ou espiralado, variando de 2 a 3 cm de diâmetro e o comprimento de 15 a 60 cm, produzindo cerca de 500 a 2000 sementes por panícula. As sementes são de cores brancas e amarelas, podendo ser marrom a depender da variedade, com tamanho de 3 a 4 mm e o peso de 8 g (1000 sementes) (Dias-Martins et al., 2018; Souza et al., 2019).

No Brasil, a cultura do milho foi introduzida em 1929, porém a sua intensificação de produção se deu a partir de 1960, com o programa de melhoramento genético do *P. glaucum* (Dias-Martins et al., 2018). A sua utilização se dá de diversas formas, como forrageira, na produção de feno e silagem; pastoreio para o gado, pois não é tóxico; produção de sementes, para formulação de ração; e para cobertura morta em sistema de plantio direto, pois apresenta uma alta produção de biomassa e elevada relação Carbono:Nitrogênio (C:N), contribuindo para redução na taxa de decomposição, o que permite uma maior ciclagem de nutrientes, e amenizar os efeitos da compactação do solo (Marcate, Camacho & Paredes, 2011; Carvalho et al., 2013).

Na região semiárida, por apresentar uma baixa disponibilidade hídrica, entretanto atendendo as exigências em média 350 mm de água por ciclo das culturas como sorgo e

milho, são provenientes das suas modificações morfológicas como menor área foliar, fechamento estomático, presença de cera na superfície foliar e ajuste osmótico garante a maior eficiência no uso da água (Sobrinho et al., 2008; Ullah et al., 2017; Almeida et al., 2017; Jardim et al., 2020b). Além disso, possui alta capacidade de rebrota, com rendimento médio de 9.073 kg ha⁻¹ a 10.000 kg ha⁻¹ para planta e rebrota, respectivamente (Pinho et al., 2013), podendo variar de acordo com os manejos.

Na alimentação animal, apresenta-se como cultura de excelente valor nutritivo de até 24% de PB, com boa aceitabilidade e digestibilidade, quando o animal está à pasto. Como forragem é ofertado como um alimento volumoso apresentando mais de 7% de PB, sendo importante para os ruminantes (Priesnitz et al., 2011; Silva et al., 2012). Para silagem oferece grão de baixo custo, em relação ao milho, e de boa qualidade, além de apresentar níveis de PB e de MS mais elevados que a silagem de milho e sorgo (Silva et al., 2012; Bernard & Tao, 2020). Brunette, Baurhoo & Mustafa (2014), estudando a substituição da silagem de milho pela de milheto na alimentação de vacas leiteiras, observaram que não apresentou diferença na produção de leite, mostrando que pode ser realizado essa substituição, pois o milheto é uma silagem de custo mais baixo.

3.3.2 Prática de irrigação em plantas forrageiras

A escassez de água no mundo, apresenta-se como um grande problema no século XXI para o setor agrícola, pois é um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A agricultura é responsável pelo consumo de 80 a 90% de toda a água doce disponível, mas devido as mudanças climáticas e o aumento populacional, vem sendo reduzido a sua utilização para a produção agrícola. Em regiões que apresentam climas áridos e semiáridos, como no Nordeste brasileiro, a baixa precipitação pluviométrica e a má distribuição ao longo do ano proporcionam aos agricultores utilizar-se da agricultura de sequeiro, porém essa atividade passa a ser de alto risco, por ocasionar estresse hídrico, deficiência de nutrientes, limitando o potencial agrícola dos vegetais (Baig, Shahid & Straquadine, 2013; Kankarla et al., 2019; Mbava et al., 2020).

Diante dessa situação, faz-se necessário o emprego de irrigação para proporcionar o melhor desenvolvimento das culturas. Existem quatro métodos de utilização dessa prática, ou seja, a forma pela qual a água será aplicada as culturas, sendo por superfície, aspersão, localizado ou subterrânea. No método de superfície, a água é distribuída pela gravidade, proporcionando uma menor eficiência de aplicação, o que fornece apenas cerca de 30% da

água necessária para as plantas, devido as perdas por evaporação e percolação (Jardim et al., 2020a). O método por aspersão, o meio de distribuição da água é através do ar, que apresenta uma eficiência superior em relação ao de superfície. Já o método localizado possui maior eficiência de distribuição, por reduzir perdas excessivas de água. A irrigação por gotejamento pertence ao método localizado, sendo utilizado em regiões áridas e semiáridas que apresentam baixa disponibilidade hídrica, proporcionando uma alta eficiência de distribuição cerca de 95%, permitindo reduzir gastos excessivos de água (Mohamed et al., 2019; Navarro et al., 2020; Piri & Naserin, 2020).

Nessas regiões a disponibilidade de cursos de água, como rios, lagos, açudes e poços são baixos, e quando presentes, as fontes são de baixa qualidade, devido as águas subterrâneas apresentarem altos níveis de sais (Mbarki et al., 2017). Alguns problemas relacionados ao excesso de sais são devido ao processo de salinização primária, decorrente do processo de intemperismo, mas pode-se agravar pela ação antrópica, com o uso excessivo de água e fertilizantes, causando impactos no solo, como floculação e dispersão da argila, ocasionando toxidade e desequilíbrio nutricional nas plantas. Porém a sua utilização se faz necessário, pois são as únicas fontes de águas disponíveis para a realização de irrigação (Bassol et al., 2010; Kankarla et al., 2019).

Com isso, a prática de agricultura bioassalada vem crescendo para a produção agrícola nessas regiões. Segundo Masters, Bones & Norman (2007), a agricultura bioassalada é um termo utilizado para descrever a ação de vários níveis de salinidade nas águas, no solo, ou a utilização de ambos, sob a agricultura. Porém, para que a prática seja eficiente é necessário utilizar-se de um manejo de irrigação bem sucedido, para não agravar o processo de salinização do solo, destacando-se o método de irrigação; escolha das espécies, visto que, a necessidade hídrica são diferentes; utilização mínima de irrigação, com base na sua necessidade (evapotranspiração da cultura – ETc); rotação de culturas (Costa et al., 2015; Souza et al., 2019; Jardim et al., 2020a).

Devido a importância da irrigação nas regiões áridas e semiárida, estudos com essa temática para espécies forrageiras vem evoluindo. De acordo com a literatura, alguns trabalhos já enfatizam a utilização de práticas de irrigação em culturas como a palma forrageira (Morais et al., 2017; Diniz et al., 2017; Lima et al., 2018a; Lima et al., 2018b). Conforme Queiroz et al. (2015), o emprego de diferentes lâminas de irrigação não alterou as características morfogênicas da palma forrageira, porém a produção de biomassa fresca e seca foram superiores aos cultivos de sequeiro relatados na literatura. Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira et al. (2015), estudando a morfogênese de três clones de palma

forrageira, sob irrigação por gotejamento, indicando que as características encontradas não foram influenciadas pela irrigação, mas pelo clone de palma forrageira. Embora seja uma cultura que apresente uma alta eficiência do uso da água, devido ao metabolismo MAC, a utilização de irrigação garante uma maior expressão do seu potencial produtivo (Nunes et al., 2020; Xavier et al., 2020).

Torres et al. (2019), avaliando diferentes lâminas de irrigação (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da ETo - evapotranspiração de referência) sob a cultura do milho em dois ciclos produtivos, observaram que a lâmina de 125% da ETo gerou a máxima produtividade de MS, sendo 15.494,47 kg ha⁻¹ e 14.779,50 kg ha⁻¹ para o 1º e 2º ciclo, respectivamente. Pesquisa realizada por Lira et al. (2020) sob as características morfológicas e de produtividade do milho usando diferentes níveis de adubação orgânica e lâminas de irrigação com água de baixa qualidade (C3S1 – alta salinidade, baixo teor de sódio e dureza moderada), identificaram um efeito linear crescente no número de folha, biomassa fresca e seca, altura de planta e comprimento de panícula, usando a lâmina de 100% da evapotranspiração, sendo assim, a da irrigação é uma prática imprescindível.

3.3.3 Cobertura morta

A cobertura morta é uma prática agrônômica de resiliência agrícola adotada no manejo do solo em todo o mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas, pois proporciona melhoria na produção agrícola garantindo uma maior segurança alimentar (Alves et al., 2018; Shahzad et al., 2019; Hu et al., 2020). Seu material pode ser orgânico, a exemplo da palhada de milho, capim, restos de culturas agrícolas, entre outros, ou também, materiais sintéticos, como filme plástico, sendo sua escolha dependente da finalidade (Zhao et al., 2019).

É amplamente adotada, pois possui características positivas tanto para a planta, assim como para o solo, sobretudo o de material orgânico, pois permite um maior aumento da infiltração da água no solo, reduzindo o escoamento superficial, e maior armazenamento, por causa da menor evaporação (Gao et al., 2019; Ibrahim et al., 2020); aumento da estabilidade dos agregados, reduzindo a velocidade do fluxo e a capacidade de transporte dos sedimentos (Rahama, Warrington & Lei, 2019; Yang et al., 2020); menores temperatura na superfície do solo; além de ser um material que proporciona um acréscimo da quantidade de matéria orgânica devido a maior taxa de mineralização proporcionada pelo aumento da microbiota do solo; e, redução do crescimento de plantas invasoras (Ibrahim et al., 2020; Wang et al., 2020a).

Em plantio direto, o uso de cobertura morta garante uma maior uniformização da umidade do solo, porém, para assegurar a sua melhor eficiência é necessário observar qual cobertura a ser usada, pois se for cobertura de leguminosa a menor relação C:N acelera a decomposição da cobertura, ao contrário, de coberturas de gramíneas que exibem uma maior relação C:N, aumentando o tempo de mineralização, permitindo maior quantidade de nutrientes por mais tempo (Silva et al., 2009; Carvalho et al., 2013).

A utilização de cobertura morta na produção agrícola é observada em muitas pesquisas, como a de Kader et al. (2019), estudando dois tipos de cobertura orgânica, sob características agronômicas, consumo de água e eficiência do uso da água para a cultura da soja; esses autores notaram que o rendimento da cultura aumentou em 37% comparado ao tratamento sem cobertura, com redução do consumo hídrico, resultando em maior eficiência no uso da água. Yang et al. (2020), utilizando cobertura morta de milho juntamente com o plantio direto na cultura do trigo, verificaram maior eficiência do uso de água e de nitrogênio, e uma maior produção de grãos em clima seco, do que no clima úmido. Já Niu et al. (2020), observando as características fisiológicas do milho, sob diferentes densidades de plantio, com e sem cobertura de plástico, notaram que houve um aumento na fotossíntese, respiração, na densidade e abertura estomática, ao se utilizar cobertura morta.

Em relação a microbiota do solo, Fu et al. (2019), estudando diferentes matérias de cobertura do solo na cultura do trigo de inverno seco, constataram que a maior diversidade e riqueza bacteriana do solo, ocorre quando se utiliza cobertura orgânica em relação a de plástico, o que também foi observado por Lv et al. (2019), pois a quantidade de carbono no solo e nutrientes disponíveis são fatores responsáveis por essas mudanças na microbiota. Já Huang et al. (2019), utilizando quatro diferentes tipos de cobertura mais a testemunha na cultura do milho, concluíram que a utilização de cobertura de plástico proporcionou uma maior diversidade bacteriana do solo, sendo este fator importante para os processos biológicos do solo.

Para a produção de forrageiras, como a *Opuntia stricta* e *Nopalea cochenillifera* (palma forrageiro) e o *Pennisetum glaucum* (milheto), poucos estudos são encontrados na literatura. Amorim et al. (2017), estudando a fenologia e o momento de corte da palma forrageira, sob cobertura morta e consórcio, mostraram que a adoção de cobertura morta oferece maior incremento na taxa de acúmulo de matéria seca, permitindo antecipar o corte de 19 meses para 17 meses. Silva et al. (2017), analisando a temperatura da superfície do solo, concluíram que adoção de cobertura morta proporcionou menores temperaturas em relação ao solo todo exposto. Para o milheto, Souza et al. (2018), avaliando a produtividade com e sem

cobertura morta, observaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos, pois a quantidade de cobertura utilizada (19,5 t ha⁻¹), não proporcionou incrementos significativos.

3.3.4 Consórcio

Diante das limitações de áreas agricultáveis, assim como, a escassez dos recursos naturais, a utilização de práticas agrícolas, como a consorciação, mostra-se como uma alternativa de contornar essas situações negativas, principalmente em regiões áridas e semiáridas. A prática do consórcio consiste no cultivo de duas ou mais culturas em uma mesma área, buscando alcançar intensificação sustentável, com incremento da produção agrícola em uma menor área (Li et al., 2019; Xu et al., 2020; Jardim et al., 2020c). Essa prática é vista como uma “Nova Revolução” agrícola, pois apresenta vantagens para o meio ambiente devido à redução de produtos químicos (Chi et al., 2019; Xu et al., 2020). Além de aumentar a eficiência dos recursos naturais como terra, nutrientes, luz e água (Xu et al., 2020), melhora também as propriedades do solo (Wang et al., 2020b), promove redução de pragas, doenças e plantas invasoras (Hong et al., 2019); e proporciona o aumento da renda (Bi et al., 2019).

A sua utilização pode ser dividida em três tipos, sendo o consórcio misto, quando duas ou mais culturas estão em pleno crescimento e desenvolvimento em uma mesma área; consórcio de revezamento, quando uma cultura alcança seu estágio de maturação e posteriormente é implantando a segunda cultura; e consórcio em fileiras, onde as espécies são cultivadas na mesma área, porém o seu cultivo está disposto em fileiras (Bi et al., 2019; Chi et al., 2019). Em ambos tipos existem interações interespecíficas e intraespecíficas, incluindo a competição simultânea pelos recursos naturais, onde oferece maior rendimento da cultura dominante e restringindo o crescimento da espécie secundária (Gong et al., 2020).

É sabido que essa prática já era utilizada no passado, com o consórcio entre leguminosas e gramíneas, como o feijão e o milho. Porém estudos são constantemente realizados para observar o comportamento de novas combinações para utilização dessa prática (Dutra et al., 2015; Sun et al., 2018; Wang et al., 2020b). Chi et al. (2019), estudando o consórcio entre as culturas de algodão e amendoim, observaram que no sistema de consórcio houve um aumento médio da produção de sementes de algodão em 17,4% e uma redução de 6,8% das vagens de amendoim em relação a monocultura, devido a cultura dominante ser o algodão e ter um maior aproveitamento dos recursos naturais, porém foi o sistema consorciado que exibiu maior produção. Li et al. (2019), examinando o consórcio do trigo

com o milho em dois anos de produção, notaram que a produtividade do trigo nos dois anos em consórcio foi 36% superior ao monocultivo, sendo 8,13 t ha⁻¹, já o milho apresentou redução de 1,6% (8,39 t ha⁻¹), porém o rendimento desse sistema foi superior nos dois anos ao sistema de monocultura.

Estudos com a utilização da palma forrageira ainda são incipientes na literatura, entretanto, Diniz et al. (2017), analisando o consórcio da palma com o sorgo, observaram uma redução no rendimento do sorgo, devido a palma ser a cultura dominante, mas em relação aos índices biológicos e habilidade competitiva, esse sistema obteve maiores eficiência do que o monocultivo. Silva et al. (2013), avaliando o sistema algodão/gergelim/palma forrageira, chegaram à conclusão de que essa configuração é uma alternativa eficiente e promissora para a agricultura, pois apresenta uma ótima eficiência do uso da terra (UET), sendo 1,97 e uma alta renda bruta de 4.375,00 R\$ ha⁻¹. Para a cultura do milheto Nelson et al. (2018) observaram que em sistema de consórcio o rendimento do milheto é reduzido, porém é uma cultura que exibe resistência a estresse hídrico e térmico. Já Gong et al. (2020) mostraram que a produtividade do milheto foi maior do que o monocultivo quando consorciado com o feijão.

4. Uso de parâmetros agrometeorológicos e ferramentas estatísticas em sistemas de produção

A utilização de indicadores agrometeorológicos na produção agrícola é uma ferramenta necessária para garantir melhor planejamento e tomada de decisão. O estudo das características estruturais e morfogênicas são uma alternativa bastante empregadas em estudos sobre ecofisiologia de plantas forrageiras, levando em consideração as condições ambientais e dos sistemas de produção (Cunha et al., 2012). A morfogênese é um atributo que permite exibir diferentes padrões de resposta da cultura associados a diferentes manejos, possibilitando melhor tomada de decisão, por compreender aspectos relativos ao crescimento, responder quais características mais influenciam na produção, além de permitir estudar a dinâmica de crescimento e produtividade (Silveira et al., 2010; Pereira et al., 2015). Para isso, são realizadas análises biométricas ao longo do desenvolvimento da cultura, no qual permitem identificar espécies mais adaptadas e com maiores potencias, impostos a diferentes sistemas de produção (Jardim et al., 2020a).

Estudos sobre morfogênese vem sendo realizados como os descritos por Pereira et al. (2015), com a palma forrageira irrigada por gotejamento em ambiente semiárido, onde observaram as características morfológicas dos clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e

IPA Sertânia (IPA) de melhores incrementos biométricos, ocorrendo por causa da precipitação pluviométrica mais a irrigação, indicando que o manejo da irrigação é crucial para essa cultura. Cunha et al. (2012) estudaram doses de nitrogênio na cultura da palma forrageira concluíram que a adoção dos diferentes tratamentos não interferiu nas características morfogênicas da cultura. Em gramíneas forrageiras, Silveira et al. (2010) calcularam a taxa de crescimento de dez forrageiras tropicais e perceberam grupos de cultivares com o melhor desenvolvimento.

Outro parâmetro bastante utilizado na caracterização do desenvolvimento das culturas é o filocrono, definido como o intervalo de tempo para emissão de uma nova folha, em decorrência dos graus dias ou soma térmica, sendo a unidade °Cdia folha⁻¹ (Tenório et al., 2017). Para isso, considera a temperatura do ar, por ser um dos elementos climáticos que influenciam no desenvolvimento das plantas, com uma temperatura basal inferior que representa o limite do desenvolvimento da cultura (Diel et al., 2017). Essa medida é importante, pois mostra como a adoção de diferentes manejos atuam sobre as mudanças no estágio fenológico das culturas, associados a outros atributos morfológicos como expansão da área foliar, responsável pela interceptação da radiação e produção de fotoassimilados (Paula & Streck, 2008).

Pesquisas relacionadas à determinação do filocrono de culturas de importância econômica e forrageiras utilizando diferentes manejos são encontradas na literatura, como o estudo de Diel et al. (2017), que analisaram duas cultivares de morango, duas origens e quatro substratos, e observaram que o filocrono não foi influenciado pela origem e sim pelo substrato, obtendo em média 147,7 e 203,6 °Cdia folha⁻¹, respectivamente, para as cultivares Carmosa e Albion. Araújo Júnior et al. (2017), estudando o consórcio da palma forrageira com o sorgo, concluíram que este manejo reduz o filocrono da palma, sendo 105,6 °Cdia cladódio⁻¹, portanto importante na maior emissão de cladódios dessa cultura. Logo, pode-se notar que quanto maior for o filocrono, mais lenta será a emissão de uma nova folha/cladódio, sendo necessário um maior acúmulo de energia térmica.

Dentre as diversas técnicas de estatística utilizada na agricultura, a análise multivariada é uma ferramenta relativamente antiga da estatística, porém o seu uso é defasado em requisito ao estudo da interpretação de dados de pesquisas com espécies forrageiras, visando a avaliação de características, medidas morfométricas e produção. Dentre essas técnicas, a análise de componentes principais (ACP) é um método que consiste em reduzir o conjunto de dados, resultando em novas variáveis lineares das variáveis originais (Silva & Sbrissia, 2010; Xiang et al., 2019). Essa técnica pode ser utilizada para gerar agrupamentos,

logo pode explicar quais características morfológicas influenciam no rendimento das culturas (Neder et al., 2013; Hongyu; Sandanielo & Oliveira Junior, 2015). Apesar de ser antiga, a sua aplicação aumentou apenas com o desenvolvimento de processadores computacionais. Teixeira et al. (2013), utilizando a ACP nos caracteres morfológicos do café arábica em 250 acessos, identificaram com eficiência que quatro caracteres morfológicos (1º ramo plagiotrópico, vigor, diâmetro do caule e número de nós do 1º ramo plagiotrópico) são responsáveis na identificação de genótipos de café arábica.

Em cactos de palma, Amani et al. (2019) analisaram 48 ecótipos de espécies do gênero *Opuntia*, utilizando ACP em diversas características das plantas, e observaram que apesar das distintas localidades de onde foram coletados os materiais genéticos, foram prevaletentes caracteres sinapomórficos, que auxiliam na edificação botânica do material. Esse tipo de análise auxilia nas relações entre atributos biofísicos do ambiente correlacionado com as características das plantas, como também parâmetros do próprio vegetal. Mounir et al. (2020), utilizando também ACP, correlacionaram os dados físico-químicos dos cladódios em diferentes locais, época do ano e idade de colheita em clones de *Opuntia ficus-indica*, concluindo que ocorre variabilidade na época de colheita, que afetam as características dos cladódios, sendo os mais jovens com maior conteúdo de proteína.

O grau de influência da domesticação em clones de palma foi reportado por Nava et al. (2018), avaliando os atributos da mucilagem, proteínas, pectinas, hemiceluloses e, conteúdo de açúcares com ACP, enfatizando que a domesticação do gênero *Opuntia* diminui os teores de proteínas e hemiceluloses; e Jardim et al. (2020c) observaram as influências das características morfo-produtivas em clones de *Nopalea* e *Opuntia* com cultivares de sorgo em sistemas consorciados. Apesar do uso dessa ferramenta em diversas áreas, estudos com características de morfometria e rendimento correlacionados com ACP são insipientes na literatura com palma forrageira e, em especial com o milho.

5. Considerações Finais

Os impactos que as mudanças climáticas podem ocasionar no rendimento da forragem em ambientes semiárido, reduzindo assim a segurança alimentar para os rebanhos. Para contornar desses problemas, a literatura reporta a importância do uso de plantas que sejam adaptadas as condições ambientais da região, por exemplo, a palma forrageira e o milho.

Em conjunto com plantas adaptadas, a utilização de diferentes práticas agrícolas, como uso mínimo de irrigação, cobertura morta e consorciação proporcionam melhores

desempenho das culturas. Porém, para que possa ser indicado os melhores manejos é necessário a aplicação de indicadores agrometeorológicos atrelados a análises estatísticas mais robustas, como as multivariadas, que permitem um melhor planejamento e tomada de decisão na produção agrícola.

Logo, o emprego de estudos em campo para a produção de forragem deve ser mais frequente, para entender o comportamento dessas culturas sob diferentes tipos de práticas agrícolas, garantindo assim maior segurança alimentar dos rebanhos; o que reforça assim a necessidade de mais pesquisas sobre o manejo da cultura da palma forrageira e do milho com âmbito de favorecer difusão das suas produções no Semiárido brasileiro.

Referências

Almeida, G. G. L., Paiva, A. L. R., Oliveira, L. M. M., & Leonardo, H. R. A. L. (2020). Análise de índices climáticos para avaliação do efeito de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Geografia e Física*, 13(1), 001-017.

Almeida, M. C. R., Leite, M. L. M., Sá Júnior, E. H., Cruz, M. G., Moura, G. A., Moura, E. A., Sá, G. A. S., & Lucena, L. R. R. (2017). Crescimento vegetativo de cultivares de milho sob diferentes disponibilidades hídricas. *Magistra*, 29(2), 161-171.

Alvalá, R. C. S., Cunha, A. P., Brito, S. S., Seluchi, M. E., Marengo, J. A., Moraes, O. L., & Carvalho, M. A. (2017). Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91, 1-15.

Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. R. F., Souza, L. S. B., & Silva, T. G. F. (2018). The application of agrometeorological techniques contributes to the agricultural resilience of forage cactus: A review. *Amazonian Journal of Plant Research*, 2(3), 207-220.

Amani, E., Marwa, L., Hichem, B. S., Amel, S. H., & Ghada, B. (2019). Morphological variability of prickly pear cultivars (*Opuntia* spp.) established in ex-situ collection in Tunisia. *Scientia Horticulturae*, 248, 163-175.

Amorim, D. M., Silva, T. G. F., Pereira, P. C., Souza, L. S. B., & Minuzzi, R. B. (2017). Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(1), 62-71.

Angelotti, F., Fernandes Júnior, P. I., & Sá, I. B. (2011). Mudanças climáticas no semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. *Revista Brasileira de Geografia e Física*, 6, 1097-1111.

Aragona, M., Lauriana, E. R., Pergolizzi, S., & Faggio, C. (2017). *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition. *Natural Product Research*, 32(17), 2037-2049.

Araújo Júnior, G. N., Silva, M.J., Salvador, K. R. S., Souza, L. S. B., & Silva, T. G. F. (2017). Filocrono de emissão de cladódios da palma forrageira em sistemas de cultivo palma-sorgo. *Anais do XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. Juazeiro:SBAGRO.

Araújo, S. M. S. (2011). A região semiárida do Nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de usos sustentável dos recursos. *Rios Eletrônica*, 5(5), 89-98.

Ausiku, A. P., Annandale, J. G., Steyn, J. M., & Sanewe, A. J. (2020). Improving pearl millet (*Pennisetum glaucum*) productivity through adaptive management of water and nitrogen. *Water*, 12, 1-26.

Baig, M. B., Shahid, S. A., & Straquadine, G. S. (2013). Making rainfed agriculture sustainable through environmental friendly technologies in Pakistan: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(2), 36-52.

Bassol, L. H., Teixeira, A. H. C., Braga, M. B., Simões, W. L., Calgaro, M., & Pinto, J. M. (2010). Uso da água em agricultura irrigado no Semiárido. Acesso em 1 de março em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158467/1/CAPITULO-10-BASSOI-final.pdf>.

Bello, Z. A., Walker, S., & Tesfahuney, W. (2019). Water relations and productivity of two lines of pearl millet grown on lysimeter with two different soil types. *Agricultural Water Management*, 221, 528-537.

Bernard, J. K., & Tao, S. (2020). Lactating dairy cows fed diets based on corn silage plus either brown midrib forage sorghum or brown midrib pearl millet silage have similar performance. *Applied Animal Science*, 36, 2-7.

Bi, Y., Zhou, P., Li, S., Wei, Y., Xiong, X., Shi, Y., Liu, N., & Zang, Y. (2019). Interspecific interactions contribute to higher forage yield and are affected by phosphorus application in a fully-mixed perennial legume and grass intercropping system. *Field Crop Research*, 244, 1-15.

Brunette, T., Baurhoo, B., & Mustafa, A. F. (2014). Replacing corn silage with different forage millet silage cultivars: Effects on milk yield, nutrient digestion, and ruminal fermentation of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(10), 6440-6449.

Cardador-Martínez, A., Jiménez Martínez, C., & Sandoval, G. (2011). Revalorization of cactus pear (*Opuntia* spp.) wastes as a source of antioxidants. *Food Science and Technology*, 31(3), 782-788.

Cardoso, D. B., Carvalho, F. F. R., Medeiros, G. R., Guim, A., Cabral, A. M. D., Vêras, R. M. L., Santos, K. C., Dantas, L. C. N., & Nascimento, A. G. O. (2019). Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diets lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 247, 23-31.

Carvalho, W. P., Carvalho, G. J., Abbade Neto, D. O., & Teixeira, L. G. V. (2013). Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(2), 157-166.

CEPED – Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Acesso em: 25 de março de 2020. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/>.

Chi, B., Zhang, Y., Zhang, D., Zang, X., Dai, J., & Dong, H. (2019). Wide-strip intercropping of cotton and peanut combined with strip rotation increases crop productivity and economic returns. *Field Crops Research*, 243, 1-11.

Costa, J. P. N., Cavalcante Júnior, E. G., Medeiros, J. F., & Guedes, R. A. F. (2015). Evapotranspiração e rendimento do milho a diferentes lâminas e salinidade da água de irrigação. *Irriga*, 1, 74-80.

Costa, M. S., Oliveira-Junior, J. F., Santos, P. J., Correia Filho, W. L. F., Gois, G., Blanco, C. J. C., Teodoro, P. E., Silva Junior, C. A., Santiago, D. B., Souza, E. O., & Jardim, A. M. R. F. (2020). Rainfall extremes and drought in Northeast-Brazil and its relationship with El Niño-Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*, <https://doi.org/10.1002/joc.6835>

Cunha, D. N. F. V., Gomes, E. S., Martuscello, J. A., Amorim, P. L., Silva, R. C., & Ferreira, O. S. (2012). Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob diferentes doses de nitrogênio. *Revista Brasileira Saúde Produção Animal*, 13(4), 1156-1165.

Dias-Martins, A. M., Pessanha, K. L., Pacheco, S., Rodrigues, J. A. S., & Carvalho, C. W. P. (2018). Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. *Food Research International*, 109, 175-186.

Diel, M. I., Pinheiro, M. V. M., Cocco, C., Fontana, D. C., Caron, B. O., Pala, G. M., Pretto, M. M., Thiesen, L. A., & Schmidt, D. (2017). Phyllochron and phenology of strawberry cultivars from different origins cultivated in organic substracts. *Scientia Horticulturae*, 220, 226-232.

Diniz, W. J. S., Silva, T. G. F., Ferreira, J. M. S., Santos, D. C., Moura, M. S. B., Araújo, G. G. L., & Zolnier, S. (2017). Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(9), 724-733.

Dubeux Júnior, J. C. B., Araújo Filho, J. T., Santos, M. V. F., Lira, M. A., Santos, S. C., & Pessoa, R. A. S. (2013). Potential of cactus pear in South America. *Cactusnet Newsletter*, 13, 29-40.

Dubeux Júnior, J. C. B., Santos, M. V. F., Mello, A. C. L., Cunha, M. V., Ferreira, M. A., Santos, D. C., Lira, M. A., & Silva, M. C. (2015). Forage potential of cacti on drylands. *Acta Horticulturae*, 1067, 181-186.

Dutra, A. F., Melo, A. S., Dutra, W. F., Silva, F. G., Oliveira, I. M., Suassuna, J. F., & Vêras Neto, J. G. (2015). Agronomic performance and profitability of castor bean (*Ricinus communis* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) intercropping in the Brazilian semiarid region. *Australian Journal of Crop Science*, 9(2), 120-126.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2018). Acesso em 10 de fevereiro de 2020, em <https://www.embrapa.br>.

Falcão, H. M., Oliveira, M. T., Mergulhão, A. C., Silva, M. V., & Santos, M. G. (2013). Ecophysiological performance of three *Opuntia ficus-indica* cultivars exposed to carmine cochineal under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 150, 419-424.

Félix, A. S., Nascimento, J. W. B., Melo, D. F., Furtado, D. A., & Santos, A. M. (2020). Análise exploratória dos impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil. *Revista em Agronegócio de Meio Ambiente*, 13(1), 397-400.

Ferreira, M. A., Silva, F. M., Bispo, S. V., & Azevedo, M. (2009). Estratégias na suplementação de vacas leiteiras no semi-árido do Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 322-329.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (2017). Tracking adaptation in agricultural sectors: Climate change adaptation indicators. Acesso em 25 de março de 2020, em <http://www.fao.org/3/a-i8145e.pdf>.

Fu, X., Wang, J., Sainju, U. M., Zhao, F., & Liu, W. (2019). Soil microbial community and carbon and nitrogen fractions responses to mulching under winter wheat. *Applied Soil Ecology*, 139, 64-68.

Gao, H., Yan, C., Liu, Q., Li, Z., Yang, X., & Qi, R. (2019). Exploring optimal soil mulching to enhance yield and water use efficiency in maize cropping in China: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 225, 1-12.

Ghatak, A., Chaturvedi, P., Nagler, M., Roustan, V., Lyon, D., Bachmann, G., Postl, W., Schröfl, A., Desai, N., Varshney, R. K., & Weckwerth, W. (2016). Comprehensive tissue-specific proteome analysis of drought stress responses in *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. (Pearl millet). *Journal of Proteomics*, 143, 122-135.

Gong, X., Dang, K., Lv, S., Zhao, G., Tian, L., Luo, Y., & Feng, B. (2020). Interspecific root interactions and water-use efficiency of intercropped proso millet and mung bean. *European Journal of Agronomy*, 115, 1-12.

Gusha, J., Halimani, T. E., Katsande, S., & Zvinorova, P. I. (2015). The effect of *Opuntia ficus indica* and forage legumes based diets on goat productivity in smallholder sector in Zimbabwe. *Small Ruminant Research*, 125, 21–25.

Hong, Y., Berentsen, P., Heerink, N., Shi, M., & Werf, W. V. (2019). The future of intercropping under growing resource scarcity and declining grain prices - A model analysis based on a case study in Northwest China. *Agricultural Systems*, 176, 1-13.

Hongyu, K., Sandanielo, V. L. M., & Oliveira Junior, G. J. (2015). Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *Engineering and Science*, 1(5), 83-90.

Hu, Y., Ma, P., Duan, C., Wu, S., Feng, H., & Zou, Y. (2020). Black plastic film combined with straw mulching delays senescence and increases summer maize yield in northwest China. *Agricultural Water Management*, 231, 1-12.

Huang, F., Liu, Z., Mou, H., Li, J., Zhang, P., & Jia, Z. (2019). Impact of farmland mulching practices on the soil bacterial community structure in the semiarid area of the loess plateau in China. *European Journal of Soil Biology*, 92, 8-15.

Hussain, J., Khaliq, T., Ahmad, A., Akhter, J., & Asseng, S. (2018). Wheat responses to climate change and its adaptations: a focus on arid and semi-arid environment. *International Journal of Environment Research*, 12(1), 117-126.

Ibrahim, M., Anjum, A. K., Ali, W., & AKBAR, H. (2020). Mulching techniques: An approach for offsetting soil moisture deficit and enhancing manure mineralization during maize cultivation. *Soil & Tillage Research*, 200, 1-9.

INSA - Instituto Nacional do Semiárido (2017). Estabelecimentos agropecuários do semiárido brasileiro. Acesso em 26 de março de 2020, em <https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Tabela%20completa-final%2008.pdf>.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). AR 5. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, v. Chapter 5, p. 351–412, 2014. Acesso em 15 de setembro de 2020. Disponível em <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf>.

Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., & Souza, M. S. (2020a). Interaction of agroecosystem intercropped with forage cactus-sorghum in the semi-arid environment: a review. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 069-087.

Jardim, A. M. R. F., Silva, G. I. N., Biesdorf, E. M., Pinheiro, A. G., Silva, M. V., Araújo Júnior, G. N., Santos, A., Alves, H. K. M. N., Souza, M. S., Morais, J. E. F., Alves, C. P., & Silva, T. G. F. (2020b). Production potential of *Sorghum bicolor* (L.) Moench crop in the Brazilian semiarid: review. *PUBVET*, 14(4), 1-13.

Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Souza, M. S., Morais, J. E. F., & Araújo Júnior, G. N. (2020c). Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus

intercropped with sorghum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(11), 1-6.

Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Alves, H. K. M. N., Araújo, J. F. N., Silva, G. I. N., & Silva, J. O. N. (2019). Dinâmica da água no solo com cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio. *Agrometeoros*, 27(2), 357-365.

Jukanti, A. K., Laxmipathi Gowda, C. L., Rai, K. N., Manga, V. K., & Bhatt, R. K. (2016). Crops that feed the world 11. Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.): an important source of food security, nutrition and health in the arid and semi-arid tropics. *Food Security*, 8, 307-329.

Kader, M. A., Nakamura, K., Senge, M., Mojid, M. A., & Kawashima, S. (2019). Soil hydro-thermal regimes and water use efficiency of rain-fed soybean (*Glycine max*) as affected by organic mulches. *Agricultural Water Management*, 223, 1-11.

Kankarla, V., Shukla, M K., Leeuwen, D. V., Schutte, B. J., & Picchioni, G. A. (2019). Growth, evapotranspiration, and ion uptake characteristics of alfafa and triticale irrigated with brackish groundwater and desalination concentrate. *Agronomy*, 9, 1-17.

Li, Y., Ma, L., Wu, P., Zhao, X., Chen, X., & Gao, X. (2019). Yield, yield attributes and photosynthetic physiological characteristics of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.)/maize (*Zea mays* L.) strip intercropping. *Field Crops Research*, 248, 1-12.

Lima, L. R., Silva, T. G. F., Pereira, P. C., Morais, J. E. F., & Assis, M. C. S. (2018a). Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. *Revista Caatinga*, 31(1), 191-201.

Lima, L. R., Silva, T. G. F., Jardim, A. M. R. F., Souza, C. A. A., Queiroz, M. G., & Tabosa, J. N. (2018b). Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(2), 113-118.

Lins, S. E. B., Pessoa, R. A. S., Ferreira, M. A., Campos, J. M. S., Silva, J. A. B. A., Silva, J. L., Santos, A. S., & Melo, T. T. B. (2016). Spineless cactus as a replacement for wheat bran in sugar cane-based diets for sheep: intake, digestibility, and ruminal parameters. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45(1), 26-31.

Lira, J. B., Andrade, A. P., Magalhães, A. L. R., Campos, F. S., Araújo, G. G. L., Deon, D. S., Gois, G. C., Regitano Neto, A., Cunha, D. S., Tabosa, J. N., Silva, T. G. F., & Nagahama, H. J. (2020). Production of pearl millet irrigated with different levels of brackish water and organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51, 1-9.

Lv, W., Qiu, Y., Xie, Z., Wang, X., Wang, Y., & Hua, C. (2019). Gravel mulching effects on soil physicochemical properties and microbial community composition in the Loess Plateau, northwestern China. *European Journal of Soil Biology*, 94, 1-8.

Mahouachi, M., Atti, T., & Hajji, H. (2012). Use of spineless cactus (*Opuntia ficus indica* F. Inermis) for dairy goats and growing kids: impacts on milk production, kid's growth, and meat quality. *The Scientific World Journal*, 2012, 1-4.

Marcante, N. C., Camacho, M. A., & Paredes, F. P. J. (2011). Teores de nutrientes no milho como cobertura de solo. *Bioscience Journal*, 27(2), 196-204.

Marques, O. L. C., Gomes, L. S. P., Mourthé, M. H. F., Braz, T. G. S., & Pires Neto, O. S. (2017). Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. *Caderno Ciência Agrária*, 9(1), 75-93.

Marra, F., & Morin, E. (2017). Autocorrelation structure of convective rainfall in semiarid-arid climate derived from high-resolution X-Band radar estimates. *Atmospheric Research*, 194, 126-138.

Martins, E. S. P. R., & Magalhães, A. R. A. (2015). A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. *Parc. Estrat*, 20(40), 107-128.

Masters, D. G., Benes, S. E., & Norman, H. C. (2007). Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 119, 234-248.

Mbarki, S., Cerdá, A., Zivcak, M., Brestic, M., Rabhi, M., Mezni, M., Jedidi, N., Abdelly, C., & Pascual, J. A. (2017). Alfalfa crops amended with MSW compost can compensate the effect of salty water irrigation depending on the soil texture. *Process Safety and Environmental Protection*, 111(9), 8-16.

Mbava, N., Mutema, M., Zengeni, R., Shimelis, H., & Chaplot, V. (2020). Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 228, 1-11.

Medeiros, S. S., Cavalcante, A. M. B., Perez Marin, A. M., Tinôco, L. B. M., Hernan Salcedo, I., & Pinto, T. F. (2012). Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro. Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande – PB.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. (2017). Acesso em: 20 de janeiro de 2020. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/semiario-brasileiro>>.

Mohamed, A. Z., Peters R. T., Zhu, X., & Sarwar, A. (2019). Adjusting irrigation uniformity coefficients for unimportant variability on a small scale. *Agricultural Water Management*, 213, 1078-1083.

Moraes, G. S. O., Ferreira, M. A., Guim, A., Tabosa, J. N., Chagas, J. C. C.; & Almeida, M. P. (2019). 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*, 221, 133-138.

Morais, J. E. F., Silva, T. G. F., Queiroz, M. G., Araujo, G. G. L., Moura, M. S. B., & Araújo Júnior, G. N. (2017). Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(4), 273-278.

Mounir, B., Younes, E. G., Asmaa, M., Abdeljalil, Z., & Abdellah, A. (2020). Physico-chemical changes in cladodes of *Opuntia ficus-indica* as a function of the growth stage and harvesting areas. *Journal of Plant Physiology*, 251, 153196.

Nava, F. G., Herrera, M. L., Peña-Valdivia, C. B., Gómez, C. R., & Santillán, Y. M. (2018). Chemical characteristics of non-starch polysaccharides of *Opuntia* cladodes as evidence of changes through domestication. *Food Bioscience*, 22, 69-77.

Navarro, M. J., Gea, F. J., Pardo-Giménez, A., Martínez, A., Raz, D., Levanon, D., & Danay, O. (2020). Agronomical valuation of a drip irrigation system in a commercial mushroom farm. *Scientia Horticulturae*, 265, 1-4.

Neder, D. G., Costa, F. R., Edvan, R. L., & Souto Filho, L. T. (2013). Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13, 203-207.

Nelson, W. C. D., Hoffmann, M., Vadez, V., Roetter, R. P., & Whitbread, A. M. (2018). Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. *Field Crops Research*, 217, 150-166.

Niu, L., Yan, Y., Hou, P., Bai, W., Zhao, R., Wang, Y., Li, S., Du, T., Zhao, M., Song, J., & Zhou, W. (2020). Influence of plastic film mulching and planting density on yield, leaf anatomy, and root characteristics of maize on the Loess Plateau. *The Crop Journal*, 1-17, <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.12.002>.

Nunes, J. S. L., Salvador, K. R. S., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Carvalho, A. A., Souza, L. S. B., Montenegro, A. A. A., & Silva, T. G. F. (2020). Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídras na bacia do Rio Pajeú. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 128-139.

Nys E., Engle, N. L., & Magalhães, A. R. (2016). Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília, DF: Centro de Ciências de Estudos Estratégicos – CGEE, 292 p.

Paula, G. M., & Streck, N. A. (2008). Temperatura base para emissão de folhas e nós, filocrono e plastocrono das plantas daninhas papuã e corriola. *Ciência Rural*, 39(9), 2457-2463.

Pedrotti, A., Chagas, R. M., Ramos, V. C., Prata, A. P. N., Lucas, A. T., & Santos, P. B. (2015). Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19(2), 1308-1324.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Acesso em: 10 maio 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Pereira, L. H., & Nascimento, P. S. S. (2020). Avaliação das normais climatológicas em municípios do Nordeste brasileiro no período de 1961 a 2010. *Brazilian Journal of Development*, 6(1), 13-27.

Pereira, P. C., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Morais, J. E. F., & Santos, D. C. (2015). Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Revista Caatinga*, 28(3), 184-195.

Pinho, R. M. A., Santos, E. M., Rodrigues, J. A. S., Macedo, C. H. O., Campos, F. S., Ramos, J. P. F., Bezerra, H. F. C., & Perazzo, A. F. (2013). Avaliação de genótipos de milho para silagem no semiárido. *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal*, 14(3), 426-436.

Piri, H., & Naserin, A. (2020). Effect of different levels of water, applied nitrogen and irrigation methods on yield, yield components and IWUE of onion. *Scientia Horticulturae*, 268, 1-11.

Priesnitz, R., Costa, A. C. T., Jandrey, P. E., Fréz, J. R. S., Duarte Júnior, J. B., & Oliveira, P. S. R. (2011). Espaçamento entre linhas na produtividade de biomassa e de grãos em genótipos de milho pérola. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(2), 485-494.

Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Jardim, A. M. R. F., Souza, C. A. A., Araújo Júnior, G. N., Morais, J. E. F., & Souza, L. S. B. (2020b). Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semiarid region of Brazil. *Catena*, 188, 1-15.

Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Lima, L. R., & Alves, J. O. (2015). Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19, 931-938.

Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Souza, C. A. A., Souza, L. S. B., Neto, S., Araújo, G. G. L., & Ferreira, W. P. M. (2019). Seasonal patterns of deposition litterfall in a seasonal dry tropical forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 279, 1-16.

Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Souza, C. A. A., Souza, L. S. B., Araújo, G. N., Jardim, A. M. R. F., & Moura, M. S. B. (2020a). Partitioning of rainfall in a seasonal dry tropical forest. *Ecohydrology & Hydrobiology*, p. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.02.001>.

Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Souza, C. A. A., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Souza, L. S. B., & Moura, M. S. B. (2021). Composition of Caatinga Species Under Anthropogenic Disturbance and Its Correlation With Rainfall Partitioning. *Floresta e Ambiente*, 28, 1-10. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2019-0044>

Rahama, A. E., Warrington, D. N., & Lei, T. (2019). Efficiency of wheat straw mulching in reducing soil and water losses from three typical soils of the Loess Plateau, China. *International Soil and Water Conservation Research*, 7, 335-345.

Santos, D. C.; Farias, I., Lira, M. A., Santos, M. V. F., Arruda, G. P., Coelho, R. S. B., Dias, F. M., & Melo, J. N. (2006). Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. Recife: IPA. 48p.

Santos, M. V. F., Lira, M. A., Dubeux Junior, J. C. B., Guim, A., Mello, A. C. L., & Cunha, M. V. (2010). Potential of caatinga forage plants in ruminant feeding. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 204-215.

Sentelhas, P. C., & Monteiro, J. E.B. A. (2009). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. 1.ed. Brasília: Inmet, 546p.

Shahzad, K., Bary, A. I., Collins, D. P., Chalker-Scott, L., Abid, M., Sintim, H. Y., & Flury, M. (2019). Carbon dioxide and oxygen exchange at the soil-atmosphere boundary as affected by various mulch materials. *Soil & Tillage Research*, 194, 1-10.

Shanableh, R., Qaoud, H. A., Myzied, N., & Shtaya, M. J. (2016). Forage yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) under different water quality and accessions. *Indian Journal of Agricultural Research*, 50(3), 264-267.

Sobrinho, W. N., Santos, R. V., Sousa, A. A., Vital, A. F. M., & Farias Júnior, J. A. (2008). Fontes de adubação na cultura do milho no semi-árido. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, 4, 48-54.

Silva, A. G., Farias Júnior, O. L., França, A. F. S., Miyagi, E. S., Rios, L. C., Moraes Filho, C. G., & Ferreira, J. L. (2012). Rendimento forrageiro e composição bromatológica de milho sob adubação nitrogenada. *Ciência Animal Brasileira*, 13(1), 67-75.

Silva, G. I. N., Chagas, R. M. M., Leite, R. M. C., Araújo Júnior, G. N., & Silva, T. G. F. (2017). Temperatura da superfície do solo cultivado com palma forrageira sob distintos manejos. *Anais do XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. Juazeiro:SBAGRO.

Silva, G. S., Oliveira, R. A., Queiroz, N. L., Silva, M. N. B., Sousa, M. F., & Silva, A. S. (2013). Desempenho agrônômico de algodão orgânico e oleaginosas consorciados com palma forrageira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(9), 975-981.

Silva, L. M., Fagundes, J. L., Viegas, P. A. A., Muniz, E. V., Rangel, J. H. A., Moreira, A. L., & Backes, A. A. (2014). Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Revista Ciência Rural*, 44(11), 2064-2071.

Silva, P. C. G., Foloni, J. S. S., Fabris, L. B., & Tirirtan, C. S. (2009). Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(11), 1504-1512.

Silva, S. C., & Sbrissia, A. F. (2010). Análise de componentes principais entre características morfogênicas e estruturais em capim-marandu sob lotação contínua. *Ciência Rural*, 40(3), 690-693.

Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Morais, J. E. F., Diniz, W. J. S., Souza, C. A. A., & Silva, M. C. (2015). Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, 28(2), 10-18.

Silveira, M. C. T., Nascimento Júnior, D., Silva, S. C., Euclides, V. P. B., Montagner, D. B., Sbrissia, A. F., Rodrigues, C. S., Sousa, B. M. L., Pena, K. S.; & Viela, H. H. (2010). Morphogenetic and structural comparative characterization of tropical forage grass cultivars under free growth. *Scientia Agricola*, 67(2), 136-142.

Souza, C., Barreto, H. F., Gurgel, V., & Costa, F. (2013a). Disponibilidade e valor nutritivo da vegetação de caatinga no semiárido norte riograndense do Brasil. *Holos*, 3, 196-204.

Souza, D. D., & Pacheco, C. S. G. R. (2019). Espécies nativas para a alimentação de ruminantes em Ouricuri – PE e seus impactos ambientais. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 15(1), 71-77.

Souza, L. V. S., Azevedo, D. O., Carvalho, A. J. A., Simões, W. L., & Voltolini, T. V. (2013b). Qualidade nutricional de plantas forrageiras de ocorrência natural na caatinga. *Revista Enciclopédia Biosfera*, 9(16), 178-185.

Souza, M. S., Silva, G. I. N., Silva, M. J., Jardim, A. M. R. F., & Silva, T. G. F. (2018). Potencial produtivo de milheto irrigado submetido a presença e ausência de cobertura morta no Semiárido Pernambucano. *Anais do III SINPROVS*. Campina Grande.

Souza, M. S., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., & Alves, H. K. M. N. (2019). Practices for the improvement of the agricultural resilience of the forage production in semiarid environment: a review. *Amazonian Journal of Plant Research*, 3(4), 417-430.

Sun, T., Zizhong, L., Qi, W., Tingting, S., & Du, M. (2018). Effects of alfalfa intercropping on crop yield, water use efficiency, and overall economic benefit in the Corn Belt of Northeast China. *Field Crop Research*, 216, 109-119.

Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, (2017). Acesso em: 20 de janeiro de 2020. Disponível em: <<http://sudene.gov.br>>.

Tavares, V. C., Arruda, I. R. P., & Silva, D. G. (2019). Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. *Revista GEOSUL*, 34(70), 385-405.

Teixeira, A. L., Gonçalves, F. M. A., Rezende, J. C., Rocha, R. B., & Pereira A. A. (2013). Análise de componentes principais em caracteres morfológicos de café arábica em estágio juvenil. *Coffee Science*, 8(2), 205-210.

Tenorio, F. M., Specht, J. E., Arkebauer, T. J., Eskridge, K. M., Graef, G. L., & Grassini, P. (2017). Co-ordination between primordium formation and leaf appearance in soybean (*Glycine max*) as influenced by temperature. *Field Crops Research*, 210, 197-206.

Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.

Torres, R. R., Robaina, A. D., Peiter, M. X., Ben, L. H. B., Mezzomo, W., Kirchner, J. H., Rosso, R. B., Pimenta, B. D., Pereira, A. C., & Loregian, M. V. (2019). Water productivity and production function in irrigated millet crop. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(6), 2837-2850.

Ullah, A., Ahmad, A., Khaliq, T., & Akhtar, J. (2017). Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(4), 762-773.

Wang, H., Guo, C., Li, X., Li, X., Yu, Z., Li, X., Yang, T., Su, Z., Zhang, H., & Zhang, C. (2020a). Effects of long-term no-tillage with different straw mulching frequencies on soil microbial community and the abundances of two soil-borne pathogens. *Applied Soil Ecology*, 148, 1-11.

Wang, X., Feng, Y., Yu, L., Shu, F., Tan, F., Gou, Y., Luo, S., Yang, W., Li, X., & Wang, J. (2020b). Sugarcane/soybean intercropping with reduced nitrogen input improves crop productivity and reduces carbon footprint in China. *Science of the Total Environment*, 719, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137517>.

Xavier, M. A., Batista, M. C., Santos, J. P. O., Silva, J. L. C., Cartaxo, P. H. A., Reges, R. S., & Pereira, D. D. (2020). Caracterização biométrica de cladódios de *Opuntia stricta* submetida a lâminas de irrigação e adubação orgânica no Semiárido paraibano. *Revista Agrarian*, 13(47), 74-81.

Xiang, J., Li, W., Ndolo, V. U., & Beta, T. (2019). A comparative study of the phenolic compounds and in vitro antioxidant capacity of finger millets from different growing regions in Malawi. *Journal of Cereal Science*, 87, 143-149.

Xu, Z., Li, C., Zhang, C., Yu, Y., Werf, W. V., & Zhang, F. (2020). Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. *Field Crops Research*, 246, 1-10.

Yang, H., Wu, G., Mo, P., Chen, S., Wang, S., Xiao, Y., Ma, H. A., Wen, T., Guo, X., & Fan, G. (2019). 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 & Tillage Research*, 197, 1-14.

Zhao, H., Liu, J., Chen, X., & Wang, Z. (2019). Straw mulch as an alternative to plastic film mulch: Positive evidence from dryland wheat production on the Loess Plateau. *Science of the Total Environment*, 676, 782-791.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Gabriel Italo Novaes da Silva – 40%

Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim – 10%

Hygor Kristoph Muniz Nunes Alves – 10%

Marcondes de Sá Souza – 4%

Carlos André Alves de Souza – 2%

George do Nascimento Araújo Júnior – 2%

Cleber Pereira Alves – 2%

Antonio Gebson Pinheiro – 2%

Kaique Renan da Silva Salvador – 2%

Renan Matheus Cordeiro Leite – 2%

Sidney Anderson Teixeira da Costa – 2%

Marcelo José da Silva – 2%

Thieres George Freire da Silva – 20%