



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Resiliência agrícola no cultivo consorciado palma-sorgo em ambiente semiárido: uma revisão

Cleber Pereira Alves¹, Luciana Sandra Bastos de Souza², Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim³, George do Nascimento Araújo Júnior⁴, Antonio Gebson Pinheiro⁵, Kaique Renan da Silva Salvador⁶, Gabriel Ítalo Novaes da Silva⁷, Thieres George Freire da Silva⁸

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900, cleberp.alves@hotmail.com. ² Professora Adjunta I da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, sanddrabastos@yahoo.com.br. ³ Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900, alexandremrfj@gmail.com. ⁴ Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900, georgearaujo.agro@gmail.com. ⁵ Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900, gebson10@hotmail.com. ⁶ Mestrando em Produção Vegetal da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, kaiquersalvador@gmail.com. ⁷ Mestrando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900, gabrielitalo.novaes@gmail.com. ⁸ Professor Associado II da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, thieres.silva@ufrpe.br.

Artigo recebido em 08/04/2021 e aceito em 16/11/2021

RESUMO

O sucesso do agronegócio no setor pecuário, depende da oferta de forragem para os animais, especialmente em zonas semiáridas, onde as características climáticas e a baixa disponibilidade de alimento podem dificultar a atividade. Diante disso, o uso de práticas agrícolas que melhorem a resiliência agrícola dos cultivos e possibilitem a oferta de forragem durante todo o ano para os animais torna-se imprescindível. Dentre tais práticas, destacam-se: o uso de espécies adaptadas às condições climáticas, escolha da configuração de cultivo, a densidade de plantio e orientação de cultivo. Nesse contexto, duas culturas que merecem destaque em ambientes quentes e secos são palma forrageira e sorgo forrageiro, ambas apresentam elevada eficiência no uso dos recursos, com produtividade satisfatória, além da existência de trabalhos que evidenciam os benefícios na associação dessas culturas na dieta alimentar dos animais. Dessa forma, na presente revisão, objetivou-se analisar as melhorias produtivas e estruturais das culturas da palma e sorgo sob adoção de práticas de resiliência agrícola. Os achados desta revisão, podem servir como subsídios para o planejamento da produção de forragem, ao tempo em que sugerem que a adoção de práticas adequadas (i.e. irrigação, consorciação, orientação de cultivo e densidade) e suas combinações no sistema de produção permitem um melhor aproveitamento dos recursos naturais e, com isso, maiores acúmulos de biomassa, constituindo-se em fatores determinantes para o êxito na produção. Palavras-chave: configuração de cultivo, densidade e orientação de plantio, *Opuntia stricta*, *Nopalea cochenillifera*, *Sorghum bicolor*.

Agricultural resilience in intercropped forage cactus-sorghum cultivation in a semi-arid environment: A review

ABSTRACT

The success of agribusiness in the livestock sector depends on the supply of fodder for animals, especially in semi-arid areas, where climatic characteristics and low food availability can hamper activity. Therefore, the use of agricultural practices that improve the agricultural resilience of crops and make it possible to offer fodder throughout the year for animals becomes essential. Among such practices, the following stand out: the use of species adapted to climatic conditions, choice of cultivation configuration, planting density and cultivation orientation. In this context, two crops that deserve to be highlighted in hot and dry environments are forage cactus and forage sorghum, both have high efficiency

in the use of resources, with satisfactory productivity, in addition to the existence of studies that show the benefits in the association of these cultures in the diet animal feed. Thus, in this review, the objective was to analyze the productive and structural improvements of palm and sorghum crops under the adoption of agricultural resilience practices. The findings of this review may serve as inputs for the planning of forage production, while suggesting that the adoption of appropriate practices (i.e. irrigation, intercropping, cultivation and density guidance) and their combinations in the production system allow for a better use of natural resources and, with this, greater accumulations of biomass, constituting determining factors for success in production.

Keywords: cultivation setting, density and orientation planting, *Opuntia stricta*, *Nopalea cochenillifera*, *Sorghum bicolor*.

Introdução

A contribuição do agronegócio é positiva para o equilíbrio da balança comercial do país (Santos et al., 2016). Um setor com crescente participação é a pecuária, que juntamente com o crescimento populacional, traz consigo o aumento na demanda por produtos forrageiros, para atendimento da necessidade alimentar dos animais, e consequentemente, humana (Alves et al., 2018; Zhang et al., 2019a), principalmente em regiões semiáridas. Nessas regiões há predomínio de pequenos e médios produtores (i.e., agricultura familiar), que são responsáveis pela produção de 70% dos produtos consumidos. No entanto, estas estão sujeitas a variabilidade climática, impactando diretamente na produtividade dos cultivos (Moraes et al., 2019; Pinheiro et al., 2021).

A produção de forragem nativa em ambientes semiáridos, se restringe aos períodos chuvoso, sendo inviabilizada em períodos de estiagem (Nunes et al., 2016; Moraes et al., 2019). Além disso, as espécies nativas forrageiras apresentam baixa produtividade, com capacidade suporte abaixo de 0,1 unidade animal (UA) ha⁻¹ ano⁻¹ (Coelho et al., 2021). Para contornar tais situações é de suma importância o emprego de estratégias que favoreçam a disponibilidade de alimento para os animais durante todo o ano, vindo a mitigar as condições adversas impostas pelo clima (Maia e Gurgel, 2013). Dentre essas estratégias, destaca-se o uso de culturas adaptadas e manejo de cultivo, os quais devem ser cuidadosamente planejados, logo que, seu uso de modo inadequado pode proporcionar efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento das culturas (Corrêa et al., 2019).

Os estudos da utilização de cultivos resilientes em regiões semiáridas se tornam relevantes, visando a maximização da produtividade das culturas. Essas práticas consistem na adequação da agricultura ao clima da região, aprimorando os recursos disponíveis, com adoção de práticas de resiliência, destacando-se o uso de culturas adaptadas bem como a diversificação do cultivo (Rao et al., 2018; Rai et al., 2018), o adensamento das culturas e orientação de plantio.

A palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), apresenta elevada tolerância a longos períodos de estiagem, e alta eficiência do uso da água, devido principalmente a seu metabolismo ácido das crassuláceas (CAM). Neste caso, a abertura estomática no período noturno, reduzindo a perda de água para a atmosfera, e assim, possibilitando aumento no rendimento agrícola de tais regiões (Silva et al., 2015a; Barbosa et al., 2018). Além disso, a palma forrageira apresenta baixo requerimento hídrico, de tal modo que em regiões com precipitação igual ou superior a 493 mm ano⁻¹, desde que sua distribuição seja regular, não há necessidade de irrigação (Silva et al., 2017). Logo, a produção de palma forrageira é uma alternativa promissora em regiões semiáridas, uma vez que apresenta alto valor nutritivo e excelente produção de energia e água por unidade de área (Rocha Filho et al., 2021).

O fornecimento exclusivo da palma, no entanto, provoca distúrbios nutricionais nos animais, devido as baixas concentrações de fibras, sendo necessário o incremento de culturas, que favorecem o suprimento do componente deficitário (Santos e Santos, 2018; Salvador et al., 2021). Uma ótima alternativa é o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), pois além de possuir elevados teores de fibra, apresenta alta produção de biomassa mesmo em condições climáticas adversas (e.g., déficit hídrico) (Aguar et al., 2015; Nazli, 2020).

Para maior eficiência no uso dos recursos disponíveis, o cultivo consorciado dessas culturas adaptadas as condições climáticas, é de extrema importância (Lima et al. 2018a). Segundo os mesmos autores o cultivo consorciado palma-sorgo elevam a eficiência no uso da água, quando avaliado a matéria seca. Diniz et al. (2017) e Jardim et al. (2021a) estudaram o consórcio palma-sorgo e verificaram que esse tipo de cultivo apresenta grande vantagem biológica e capacidade competitiva quando comparado ao cultivo exclusivo, demonstrando sua eficiência no uso da terra. Consórcio palma-sorgo promove maior lucro quando relacionado com o monocultivo da palma forrageira (Lima et al., 2018b).

Para maximização do cultivo, a irrigação torna-se uma importante prática, atendendo a

demanda das culturas, favorecendo seu pleno desenvolvimento, proporcionando garantia de produção e sustentabilidade socioeconômica da região (Sousa et al., 2021). Entretanto, em ambiente semiárido a água de irrigação por muitas vezes é de baixa qualidade, devido a quantidade de sais presentes, sendo necessário colocar em prática o uso de agricultura bioassalada, a qual é definida como práticas agrícolas melhoradas que buscam o uso de solo e água salina, com a finalidade de alcançar melhor produção por meio do uso sustentável e integrado dos recursos (Nikalje et al., 2017). Dito isto, a maximização da eficiência no uso da água, mesmo aquelas com qualidade inferior, tornando-se importante alternativa nessas regiões (Sabino et al., 2021).

Além dos fatores elencados anteriormente o rendimento de uma cultura é bastante influenciado pela densidade populacional e o arranjo no sistema de cultivo (Corrêa et al., 2019; Lu et al., 2021). Uma vez que influencia na interceptação solar incidente, influenciando na área e inserção foliar, principalmente nas camadas inferiores das plantas (Cardoso et al., 2017; Corrêa et al., 2019). Logo, a hipótese do estudo é que a modificação no sistema de produção promove alterações significativas nas características de crescimento e produtivo das culturas. Dessa forma, na presente revisão, objetivou-se analisar as melhorias produtivas e estruturais das culturas da palma e sorgo sob adoção de práticas de resiliência agrícola.

Caracterização ambiental e econômica do semiárido

A agricultura é um setor dependente das condições climáticas, bem como de sua variabilidade, desse modo o clima regional reflete em efeitos negativos e/ou positivos na produtividade agrícola, sendo mais pronunciáveis aqueles relacionados às alterações nos padrões de chuvas no que concerne ao seu volume (i.e. secas e enchentes) e sua distribuição espaço-temporal (Rao et al., 2018; Rai et al., 2018).

O território global é caracterizado por apresentar 55% de zonas áridas, semiárida e desérticas, as quais são bastante difundidas e diversificadas em todo o mundo (Campos et al., 2017). E esse percentual tende a aumentar ainda mais, devido as mudanças climáticas e a ação

antrópica, refletindo em redução nas precipitações pluviais e aumento na sazonalidade, que são determinantes para o aumento de áreas desertificadas, que representam um tipo de degradação ambiental mais grave nas zonas áridas, semiáridas e sub-úmidas (Li et al., 2016; Oliveira-Júnior et al., 2021a; Cruz Neto et al., 2021).

Em regiões áridas e semiáridas a escassez hídrica e a distribuição irregular da precipitação pluvial são fatores limitantes para o estabelecimento e produção das culturas, em especial os cultivos em sequeiro (Aguirre-Gutiérrez et al., 2019; Zhang et al., 2019b). De acordo com a classificação climática de Köppen a região semiárida apresenta três classificações principais, sendo eles, BShw' – semiárido, com verão e outono chuvoso, e chuvas concentradas nos meses de março e abril, BShs' – semiárido, com maiores precipitações pluviais no inverno e outono, com de maio e junho mais chuvoso e BShw – semiárido, com verão chuvoso e precipitações pluviais mais concentradas nos meses de dezembro e janeiro (Pereira Filho et al., 2013; Oliveira-Júnior et al., 2021b).

O Semiárido brasileiro corresponde a 18,2% do território nacional e abrange uma área de 982.566 km², sendo o mais úmido e maior ambiente semiárido do planeta (Figura 1) (Silva et al., 2020a). Frequentemente em regiões semiáridas, ocorrem anos com chuvas abaixo da normal climatológica, com presença de secas severas, aumentando a escassez hídrica e ameaçando o desenvolvimento socioeconômico e qualidade ambiental (Montenegro e Ragab, 2012; Costa et al., 2020; Jardim et al., 2021c). Os períodos de secas severas no Semiárido brasileiro são frequentemente observados ao longo do tempo, com destaque para a década de 2011 a 2020, sendo considerada uma das mais graves, com seca severa nos anos de 2012 a 2016, com elevada variabilidade das precipitações pluviais e distribuição irregular no espaço e no tempo, com alta intensidade e baixa duração, sendo necessário um olhar especial para a região, uma vez que há maior frequência nos períodos secos, com aumento na severidade e extensão espacial, que desencadeia condições de baixos índices pluviométricos e elevação no déficit hídrico (Silva et al., 2020b), desfavorecendo a produção agrícola nesses ambientes.

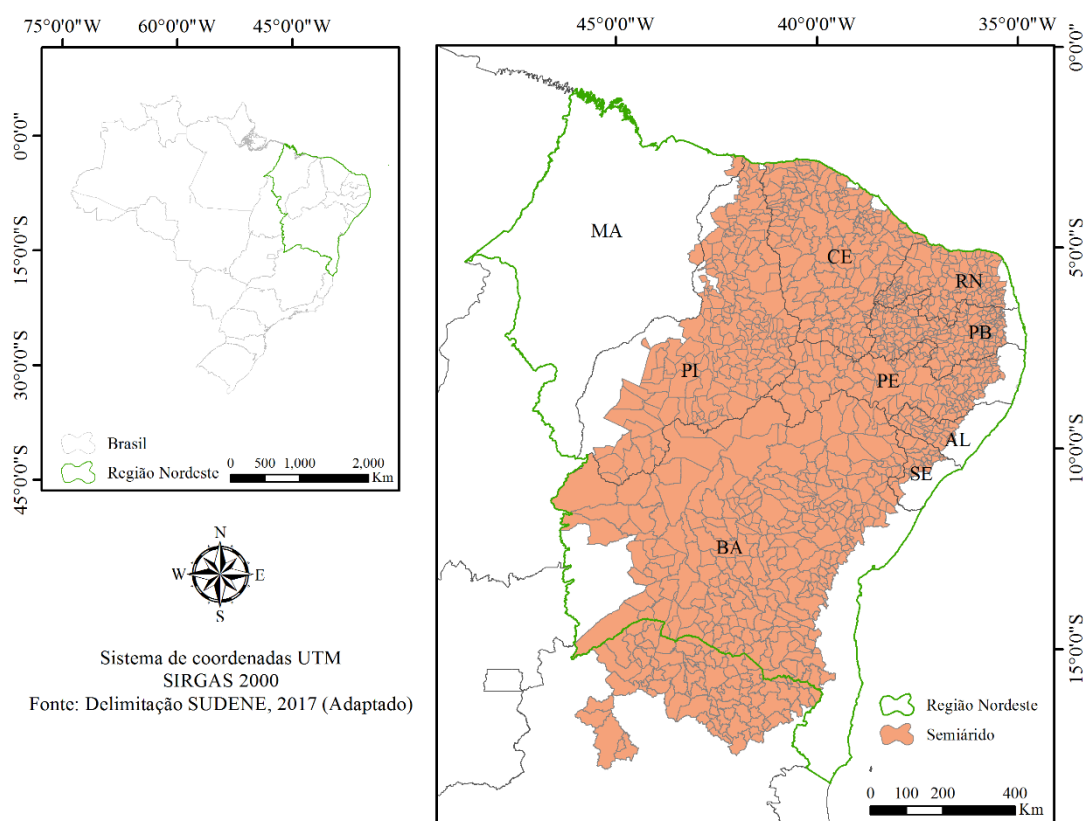


Figura 1. Representação gráfica do mapa do Brasil, da região Nordeste e delimitação geográfica do Semiárido. Adaptado de SUDENE (2017).

As perdas nas colheitas agrícolas, são decorrentes das secas sazonais que atingem predominantemente as regiões semiáridas, devido as variações climáticas que prejudicam o crescimento das culturas (Cunha et al., 2015). A seca é definida como um longo período temporal, com precipitação pluvial inferior à normal climatológica, a qual resulta em escassez hídrica. Esta é considerada um dos perigos naturais com maior capacidade de devastação, que podem comprometer a segurança hídrica, alimentar e energética, além de ocorrer em todas as zonas climáticas, sendo as semiáridas as mais vulneráveis a tais mudanças (Brito et al., 2021).

A seca pode ser classificada de quatro formas distintas: seca meteorológica, seca hídrica, seca agrícola e seca socioeconômica. Seca meteorológica, quando há ausência de chuva em uma região por um período de tempo. Seca hídrica, associada ao abastecimento deficiente da água em superfície e abaixo dela. Seca agrícola, referindo-se à disponibilidade insuficiente de água para a cultura durante seu ciclo de vida, e seca socioeconômica, ligada a falha no sistema de

recursos hídricos, o qual busca atender a demanda por água, impactando diretamente e indiretamente na atividade antrópica (Cunha et al., 2015).

Parte dos prejuízos no setor agropecuário, se deve a tais condições adversas, as quais influenciam de maneira negativa no crescimento e desenvolvimento das culturas, provocando a inviabilização da produção (Sá Júnior et al., 2018). Além das condições do clima semiárido, com destaque para o aumento do déficit hídrico, a região Nordeste do Brasil é ameaçada pela degradação ambiental devido a elevada pressão antrópica, por meio da atividade agropecuária, com ênfase no setor pecuário, havendo degradação do bioma Caatinga (Silva et al., 2021). Neste contexto, pode se observar a substituição da paisagem nativa por espécies forrageiras para formação de pastagem, a fim de garantir a alimentação animal durante todo o ano, devido a demanda imposta pela atividade predominante da região semiárida brasileira (Silva et al., 2020c).

A pecuária é a principal atividade econômica do semiárido brasileiro por conta da baixa probabilidade de sucesso nos lucros na

produção de culturas como feijão e milho, em decorrência da irregularidade da precipitação e riscos de secas prolongadas (Meira et al., 2021). No entanto, para o fornecimento de forragem a cada unidade animal no bioma Caatinga, são necessários de 12 a 15 ha, e durante secas severas, este valor dobra, onde a cultura ofertada além de suprir a necessidade alimentar dos animais, devem ser tolerantes a altas temperaturas e a escassez hídrica (Lemos et al., 2021).

Com isso, o uso de cultivos resilientes permitem a adequação do cultivo as condições climáticas, com a finalidade de produzir de forma sustentável, buscando o êxito na produção agrícola e consequentemente pecuária (Rai et al., 2018). Neste contexto, podem permitir a melhor adequação diante das situações adversas impostas pelo clima, sem prejuízos ao meio ambiente.

Cultivos resilientes no cenário atual de mudanças climáticas

Resiliência é basicamente definida como a capacidade de um sistema e seus componentes em lidar e se adaptar facilmente as mudanças ocorridas no ambiente (Šūmane et al., 2018; Roy et al., 2019; Clay e Zimmerer, 2020). Logo, a resiliência agrícola é considerada como capacidade do sistema de produção manter suas características estruturais e comportamentais sob influência de características climáticas adversas, por meio de adaptações e práticas adequadas, a fim de mitigar desafios climáticos e eventos extremos (Eeswaran et al., 2021).

As práticas para melhoria na resiliência agrícola podem ser categorizadas em três: as intervenções genéticas, as decisões informadas e intervenções agronômicas. O primeiro caso, é obtido por meio do desenvolvimento de germoplasmas tolerantes a estresses ambientes (e.g., seca, altas temperaturas, etc.), bem como genótipos com ajustes fenológicos, com intuito de evitar esses estresses. A utilização das decisões informadas para melhoria da resiliência é a partir do uso de previsões climáticas, a fim de evitar estresses, por meio da tomada de decisão e planejamento agrícola. Por sua vez, as intervenções agronômicas incluem ajustes desde o plantio até a colheita, com uso de manejos agrícolas adequados a cada região (Eeswaran et al., 2021).

Logo, em cultivos resilientes ocorre a mudança do ambiente de produção, através de práticas agrícolas, tais como a diversificação simultânea de espécies na mesma área, utilização de culturas adaptadas ao clima da região em que

está inserida, de modo que esses manejos devem integrar as práticas tradicionais com a ciência moderna, possibilitando a garantia da colheita em quantidade e qualidade (Rai et al., 2018).

Além do mais, esses cultivos visam a sustentabilidade do ecossistema, reduzindo os riscos relacionados ao clima, através do acréscimo na capacidade adaptativa das culturas e da resiliência, mantendo a diversidade biológica, produtividade, e questões voltadas a abordagens socioeconômicas (Rao et al., 2018).

Dessa forma, para contornar impactos negativos na produtividade agrícola, o emprego de sistemas de produção resiliente é de extrema importância, principalmente no contexto de mudanças climáticas (Chandra et al., 2017). As mudanças climáticas influenciam bastante o setor agropecuário, sendo necessário práticas agronômicas que visem a redução dos seus impactos negativos, através de manejos agrícolas (i.e., escolha de culturas e combinação de espécies), a fim de mitigar os riscos e elevar a produtividade (Texeira et al., 2018).

Além das mudanças climáticas, a crescente demandas por alimento decorrentes do crescimento populacional e a redução no tamanho das terras agricultáveis é muitas vezes conflitante para os ambientes agrícola (Hosseini-Motlagh et al., 2020), pois ao mesmo tempo que se necessita elevar a produtividade das lavouras deve-se haver manutenção da biodiversidade, redução da degradação ambiental, melhoria na segurança alimentar, bem como conservação da diversidade do ecossistema, sendo um grande desafio da atualidade, tornando importante o aumento da resiliência do sistema em se adaptar as mudanças ocorridas, levando em consideração a manutenção das biodiversidade e bem estar socioeconômico da população (Frei et al., 2020).

Esse fato é mais agravante para os pequenos produtores, uma vez que são mais susceptíveis a mudanças ocorridas no clima (Moroda et al., 2018), com destaque para os de regiões semiáridas. Segundo Cristiano (2021), pesquisas relatam que pequenas propriedades (i.e., < 2 ha) são responsáveis por produzir cerca de 30 a 34% do suprimento alimentar global.

Com isso, no atual cenário de mudanças climáticas, necessidade alimentar crescente e esgotamento de recursos (Šūmane et al., 2018), é de extrema importância a adaptação dos sistemas de produção agrícola, através da modificação no ambiente de cultivo, a fim de melhorar a resiliência agrícola, por meio do uso de culturas bem

adaptadas ao clima, tempo de crescimento e uso de irrigação (Matthews et al., 2013), assim como utilização de manejo adequado.

Palma forrageira e sua convivência no semiárido

O uso de culturas adaptadas é uma alternativa indispensável para as regiões secas e quentes, como o semiárido, pois as alterações ocorridas pelo clima são bastante desfavoráveis, quando relacionados a produção vegetal (Maia e Gurgel, 2013). Além do fator climático, outro agravante é a remoção da vegetação nativa, aumentando a fragilidade das terras, com intensificação no processo de desertificação.

No Semiárido brasileiro, é estimado que metade da superfície de Caatinga já foi modificada, havendo alterações nas trocas de massa e energia, influenciando diretamente na disponibilidade hídrica e, conseqüentemente dificultando a produção agrícola, sendo então necessário adoção de práticas para melhoria na conservação dos recursos e adequações na atividade agropecuária, surgindo nesse cenário o uso de culturas adaptadas como uma técnica bastante adequada (Nunes et al., 2020).

Diante de tais circunstâncias, o cultivo de palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) é uma estratégia mitigatória à convivência da atividade pecuária em ambientes quentes e secos (Nhaga et al., 2018; Lima et al., 2021), tendo por finalidade atender a demanda dos animais por forragem em períodos de estiagem prolongada (Carvalho et al., 2017). Alternativamente, seus cladódios podem ser

utilizados na alimentação humana, medicina moderna (Ginestra et al., 2009) e produção de biocombustível (Santos et al., 2016). A palma forrageira apresenta adaptações morfofisiológicas, principalmente relacionadas ao seu metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) (Silva et al., 2015b; Souza Filho et al., 2016; Araújo Júnior et al., 2021a), com eficiência no uso da água ~3 vezes maior que nas plantas com metabolismo C4 e ~6 vezes maior que plantas C3, apresentando elevado potencial para a utilização em região semiárido (Liu et al., 2018; Edvan et al., 2020).

A palma forrageira é da família Cactaceae, constituída por aproximadamente 130 gêneros e 1500 espécies (Pessoa et al., 2020). Comumente conhecida e disseminada na África do Sul, Argentina, Bolívia, Brasil, Eritreia, Espanha, Estados Unidos (Texas), Etiópia, Itália, Marrocos, México, Peru e Tunísia (Figura 2) (Mounir et al., 2020). Essa cultura apresenta um diferencial quando comparada a espécies forrageiras comumente utilizadas na alimentação animal, pois além de suprir a necessidade alimentar, é importante fonte de água, devido armazenamento deste elemento em seus cladódios, servindo como ótima estratégia em ambientes onde a esse recurso natural é limitado (Barbosa et al., 2018; Carvalho et al., 2018). A manutenção do equilíbrio hídrico e consequente retenção de água em seus cladódios se dá pela presença de cutícula impermeável, refletindo a luz solar, com redução da temperatura interna e regulação na entrada e saída de oxigênio e gás carbônico (Rocha, 2012; Jardim et al., 2021b).

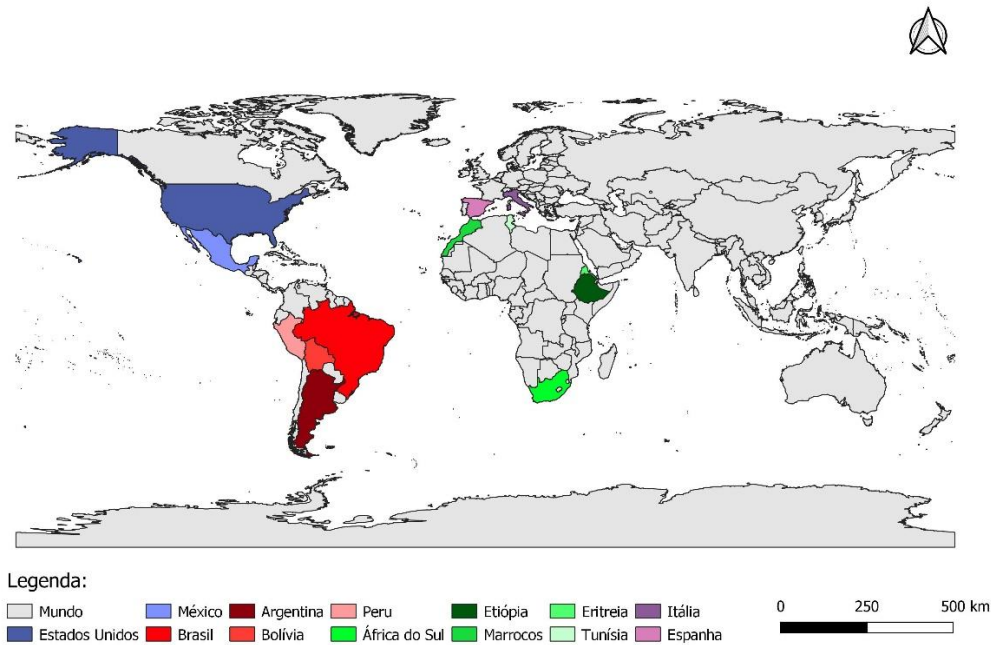


Figura 2. Distribuição geográfica mundial da palma forrageira. Fonte: Mounir et al. (2020).

Plantas com metabolismo CAM realizam sua abertura estomática no período noturno, quando a temperatura é amena e a umidade relativa do ar elevada, com os estômatos abertos o CO_2 é fixado. No citosol a fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase) catalisa o CO_2 atmosférico juntamente com o fosfoenolpiruvato, resultando na formação de oxaloacetato, o qual é reduzido a malato e posteriormente transportado para o vacúolo das

células, na forma de ácido málico. No período diurno, os estômatos se fecham, evitando a perda de água e entrada de CO_2 , então o malato é descarboxilado, por meio da ação da enzima NADP-málica, havendo a liberação do CO_2 no interior da célula, sendo posteriormente assimilado pela Rubisco no ciclo de Calvin-Benson (Figura 3) (Scalisi et al., 2016; Liu et al., 2018).

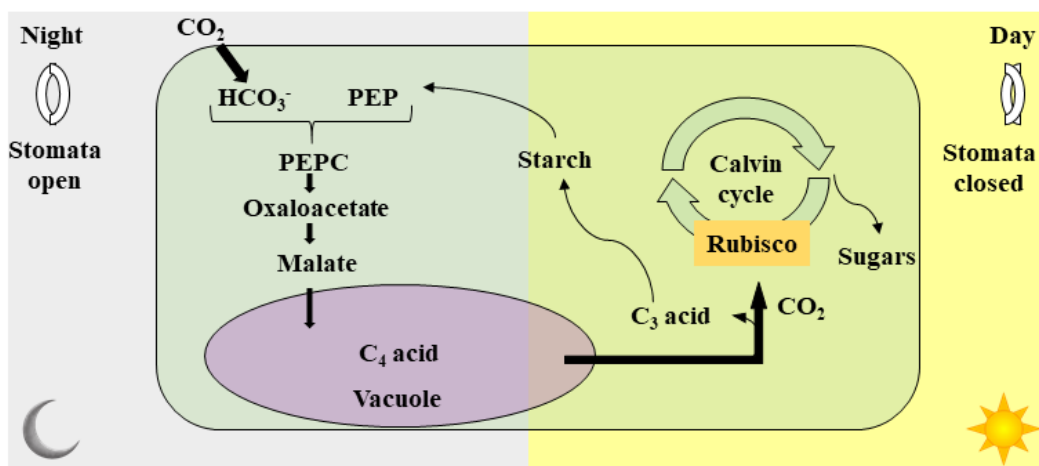


Figura 3. Representação simplificada do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM). Adaptado de Gilman; Edwards (2020).

Além de suas adaptações fisiológicas e fenológica a palma forrageira apresenta um sistema radicular superficial e com alta distribuição espacial, possibilitando uma maior exploração do solo com elevada captação de água, devido a sua complexidade radicular (Hassan et al., 2019).

A produtividade e as características morfofisiológicas e fenológicas da palma forrageira, são dependentes do manejo agrícola empregado e do genótipo utilizado (Jardim et al., 2021d). Queiroz et al. (2015) avaliaram as características morfofisiológicas e produtiva da palma forrageira, e verificaram que o uso de irrigação na palma promove aumento no número de cladódios, assim como no rendimento forrageiro em massa fresca e seca, quando comparado a cultivo em sequeiro. Silva et al. (2014a) estudaram a eficiência produtiva dos clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM), Miúda (MIU) e IPA-Sertânia (IPA), considerando a produção de massa fresca, constataram que os clones OEM e IPA apresentaram melhores resultados de eficiência no uso da água, entretanto, para massa seca, os três clones não apresentaram diferença. Rocha et al. (2017), em estudo com diferentes genótipos da espécie sob intervalos de corte, observaram que o desempenho produtivo e as características estruturais são afetadas pelo genótipo e manejo de corte utilizado.

A fim de verificar a produção de forragem e respostas estruturais do clone de palma forrageira OEM sob diferentes lâminas e frequências de irrigação Pereira et al. (2021) verificaram que a lâmina de água de 77% da evapotranspiração da cultura eleva a produtividade de forragem, podendo ser adotado a frequência de irrigação de 7 a 28 dias. Amorim et al. (2017) observaram que quando há presença de cobertura morta no solo a palma eleva a taxa de acúmulo de matéria seca, com redução no ciclo da cultura, em comparação ao cultivo sem uso de cobertura, adicionalmente, verificaram-se modificações nas fenofases com aplicação de lâminas de irrigação. Além dos trabalhos elencados anteriormente, diversos são os estudos na literatura que buscam o entendimento comportamental da palma forrageira sob diferentes manejos de cultivo (Queiroz et al., 2015; Silva et al., 2015a; Peixoto et al., 2018; Nunes et al., 2020; Matos et al., 2020; Campos et al., 2021; Léo et al., 2021).

Além do manejo aplicado, as variáveis ambientais promovem modificações na dinâmica de crescimento e acúmulo de forragem da palma forrageira, onde essa influência é dependente do

clone avaliado. Dentre as variáveis, as que mais afetam a dinâmica de crescimento e acúmulo de forragem é a temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e o regime hídrico ao longo do ciclo da cultura (Araújo Júnior et al., 2021b). Edvan et al. (2020) em estudo com três clones de palma forrageira (Miúda, Baiana e OEM) cultivadas em sete localidades do Piauí (Bom Jesus; Currais; Riacho Frio; Curimatá; Júlio Borges; Avelino Lopes e Corrente), constataram que os diferentes clones apresentaram respostas produtivas diferentes em relação a localidade de cultivo.

O comportamento produtivo e estrutural do vegetal é sujeito a mudanças associadas ao acúmulo de sais na água ou solo. Em estudo com a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) Santos et al. (2020) avaliaram o comportamento da cultura sob estresse salino, por meio da irrigação com água salina (4,61 dS m⁻¹) e não salina (0,58 dS m⁻¹), com volumes de aplicação de 300, 600 e 900 ml e frequências de rega, observaram que o aumento excessivo de salinidade e elevação na frequência de rega reflete em resposta negativa quanto ao crescimento da cultura. Franco-Salazar e Vélix (2008) observaram que quando há aumento na concentração de NaCl no meio a palma forrageira reduz a formação de novos órgãos e produção de massa seca, no entanto, como alternativa de escape ao estresse a planta investe em biomassa radicular. Gajender et al. (2013) em estudo com a palma forrageira sob diferentes salinidades do solo e da água de irrigação, relatam que a cultura é moderadamente tolerante ao estresse salino, com alta sensibilidade em seus parâmetros quando exposta a condições acima de 4 dS m⁻¹.

Em relação a sua composição bromatológica, a palma possui alto valor energético, devido à elevada concentração de carboidratos não fibrosos, entretanto, os teores de matéria seca, proteína bruta e fibra são baixos quando comparados aos níveis mínimos indicados para os ruminantes (Peixoto et al., 2018; Pessoa et al., 2020). A composição bromatológica é bastante dependente do genótipo. Pessoa et al. (2020) avaliaram diferentes genótipos de palma forrageiras (IPA-20, Gigante, Orelha de Elefante Mexicana, Orelha de Elefante Africana e F-08), e verificaram que os genótipos Orelha de Elefante Mexicana e Orelha de Elefante Africana apresentaram os melhores resultados quanto a pectina, carboidrato não fibroso e digestibilidade, sendo estes mais recomendados para alimentação de ruminantes em relação aos demais estudados.

Vale ressaltar que a pectina é um composto presente na parede celular dos vegetais, que apresenta alta solubilidade, contribuindo para o aumento na digestibilidade da fibra em detergente neutro e da matéria seca, de tal modo, plantas com elevados teores deste composto apresentam alto potencial para serem ofertadas na alimentação de ruminantes, pois apresentam características que favorecem a manutenção de um ambiente ruminal favorável (Pessoa et al., 2020).

No entanto, por possuir baixas concentrações de fibras e proteínas, juntamente com elevado teor de umidade, o fornecimento exclusivo da palma pode promover distúrbios nutricionais e/ou laxativos nos animais, sendo necessário ser fornecida juntamente com um alimento fonte de fibras e proteínas, proporcionando o desempenho adequado do rúmen (Macêdo et al., 2017).

Sorgo e sua importância como planta forrageira adaptada ao semiárido

O sorgo é uma cultura que apresenta alta capacidade fotossintética e elevada biomassa, tendo uma grande diversidade em seu uso, desde a alimentação animal até a produção de biocombustível, demonstrando assim sua importância no globo (Zhu et al., 2019). Esta representa o quinto cereal mais valioso economicamente em termos mundiais, pois se trata de uma importante fonte alimentar, apresenta características adaptativa a condições adversas, podendo ser bastante utilizado no cenário de mudanças climáticas (Punia et al., 2020).

Dentre os seus atributos, o sorgo apresenta baixa exigência hídrica, com alta tolerância a ambientes secos, elevado rendimento forrageiro e baixa necessidade quanto a fertilidade do solo, além de apresentar capacidade de rebrota, permitindo outras colheitas em uma mesma estação de crescimento (Pino e Heinrichs, 2017; Cruz et al., 2020), além disso apresenta crescimento rápido e tolerância a eventos climáticos severos (Xiao et al., 2021).

A adaptabilidade do sorgo a regiões de clima quente e seco está associado a modificações morfológicas e estruturais, que viabilizam a produção dessa espécie em ambientes de condições adversas. Dentre estas, tem-se serosidade presente em seu colmo e folhas, enrolamento das folhas nos horários com temperaturas do ar mais altas, favorecendo uma redução na área foliar, possibilitando a minimização da incidência solar nas folhas e, conseqüentemente menor

transpiração. Dispõe de um sistema radicular bem desenvolvido e de grande profundidade, o que possibilita seu crescimento e desenvolvimento em solos rasos e de baixa fertilidade, além de apresentar maior produtividade quando comparado à outras culturas (i.e., milho) (Perazzo et al., 2013). Desse modo, essa cultura é opção viável de volumoso em regiões que apresentam longos períodos de baixa disponibilidade hídrica. Adicionalmente é bastante utilizado no processo de ensilagem, por apresentar elevada qualidade em sua composição bromatológica (Tang et al., 2018).

O potencial produtivo do sorgo é dependente de diversos fatores, tais como cultivar utilizada, densidade populacional, época de semeadura, entre outros manejos de cultivo. Com intuito de quantificar a produção de duas cultivares de sorgo (crioulo e BRS Ponta Negra) sob diferentes arranjos populacionais (1, 2 ou 3 plantas por cova) Silva et al. (2017) observaram que a cultivar BRS Ponta Negra apresentou os melhores resultados, e o melhor arranjo quando se utilizaram duas plantas por cova. Ceccon et al. (2018) a fim de determinar a produtividade de cultivares de sorgo sacarino (BRS 506, BRS 508, BRS 509 e BRS 511) sob cinco épocas de semeadura (dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril) e dois tipos de solo (arenoso e argiloso), verificaram que a cultivar que apresentou maior produtividade foi a BRS 506 sob cultivo em solo argiloso. Estes autores observaram que a época de semeadura independente do solo, em que ocorreu a maior produção de biomassa e açúcares totais foi aquela realizada nos meses de dezembro e janeiro.

Além do relatado anteriormente, o sorgo apresenta capacidade de tolerância moderada ao estresse salino, e, pode ser cultivado em condições onde a salinidade é um fator inevitável (Coelho et al., 2014). A salinidade do solo e da água apresentam efeitos prejudiciais sobre o rendimento das espécies, pois promove redução no potencial osmótico, toxicidade iônica e desequilíbrio nutricional (Saadat e Homaei, 2015), isso é mais agravante em ambientes áridos e semiáridos, onde a quantidade e qualidade da água é reduzido, tornando-se inevitável o uso de águas com aporte de sais (Silva et al., 2014b). As respostas do sorgo à salinidade são variáveis. Costa et al. (2019) em avaliação ao desempenho de três cultivares de sorgo (BRS 506, Ponta Negra e IPA 2502) submetidos a três lâminas de irrigação (306, 378 e 490 mm) e quatro concentrações salinas (0,8; 2,4; 3,4 e 4,8 dS m⁻¹), verificaram que a cultivar BRS 506 é a mais sensível com relação a salinidade. Já

as cultivares Ponta Negra e IPA 2502 não apresentam redução significativa da produtividade quando se aumentou a concentração salina até 4,8 dS m⁻¹, no entanto, a cultivar IPA 2502 apresentou o menor resultado de produtividade independente da lâmina de irrigação e da salinidade da água. Punia et al. (2020) estudaram o comportamento fisiológico de dois genótipos de sorgo (SSG 59-3 e PC-5) sob diferentes concentrações salinas (60; 80; 100; 120 e 140 mM NaCl), e observaram que o genótipo SSG 59-3 apresentou melhor desempenho, mesmo sob altos níveis de salinidade, devido à forte composição genética e alta adaptabilidade de tolerância ao estresse salino.

Logo, quando a água de boa qualidade for escassa, os eventos de irrigação podem ser realizados com uso de águas salobras, desde que haja a escolha correta do arranjo produtivo e cultivar a ser utilizada, sem que haja prejuízos significativo na produção de forragem em cultivo de sorgo (Elias et al., 2016). Além do relatado, o sorgo quando cultivado em consórcio com outras plantas, apresenta otimização e maximização na utilização dos recursos disponíveis (i.e., luz, solo, água, etc.) (Chimonyo et al., 2018), com destaque para o cultivo palma-sorgo, proporcionando

disponibilidade de forragem de qualidade e em quantidade durante períodos de estiagem prolongada (Diniz et al., 2017).

Consórcio palma-sorgo como alternativa de cultivo em ambiente semiárido

Manejos de cultivo são fundamentais para o êxito na produção dentre eles pode ser destacado o uso de consórcio, o qual é realizado a partir do plantio de duas ou mais culturas, sendo de espécies diferentes, em uma mesma área de forma simultânea, a fim de promover a diversificação no ambiente de cultivo, proporcionando redução dos riscos ocasionados pela irregularidade de chuva (Masvaya et al., 2017; Jardim et al., 2020a; Jardim et al., 2020b).

O sistema consorciado promove exploração espacial e temporal da água e dos nutrientes presente no solo, por meio do aumento na densidade de raízes e diferença no arranjo do sistema radicular das culturas consorciadas (Figura 4). Nesse tipo de sistema, a cobertura do solo por parte do dossel das culturas é precoce, reduzindo a evaporação do solo, possibilitando maior quantidade de água disponível para as mesmas (Chimonyo et al., 2016).

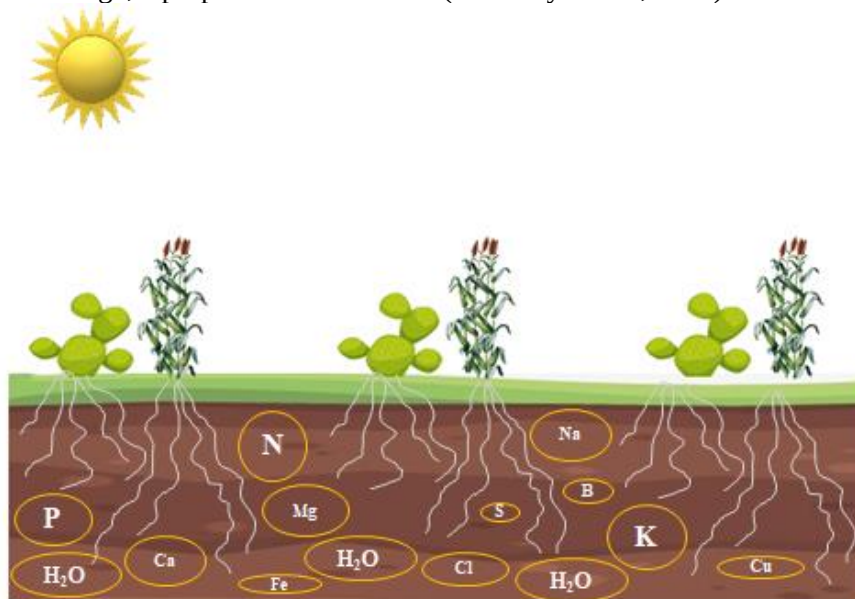


Figura 4. Sistema consorciado palma-sorgo com exploração do sistema radicular das culturas consortes. Fonte: Os autores.

O uso de cultivos consorciados tem sido bastante incentivado em regiões semiáridas, pois promovem um melhor aproveitamento de área e água, havendo o aumento dos rendimentos por meio da cooperação mútua da cultura e de seu consorte (Masvaya et al., 2017). A produção de

matéria seca, por unidade de área em condição de consórcio é elevada, havendo otimização dos recursos disponíveis no local, minimiza as perdas de produção, em especial em áreas com baixos níveis pluviométricos (Amorim et al., 2017). Desse modo, para a maximização na produtividade de cultivos de palma forrageira e maior eficiência no

uso da terra, o cultivo consorciado com sorgo é uma alternativa bastante viável, principalmente em regiões semiáridas (Lima et al., 2018a).

Vários estudos tem demonstrado a importância do consórcio palma-sorgo em condições semiárida, como aumento no acúmulo de matéria seca da forragem e antecipação da colheita da palma forrageira (Amorim et al., 2017; Jardim et al., 2021a; Jardim et al., 2021d), vantagens biológicas e alta capacidade competitiva em relação ao cultivo exclusivo das culturas, com maior benefício produtivo, eficiência no uso da terra (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021a), promoção de maior lucratividade em comparação ao monocultivo da palma forrageira (Lima et al., 2018b), além de apresentar aumento na eficiência no uso da água (Lima et al., 2018a).

Quando irrigado, o consórcio palma-sorgo apresenta aumento considerável em seu rendimento em comparação aos sistemas dependentes de chuva (Diniz et al., 2017). Alves et al. (2019) estudaram a evapotranspiração de cultura (ET_c) do consórcio palma-sorgo, e verificaram que há um incremento de produção no sistema produtivo com pequeno reflexo na demanda hídrica, onde obtiveram ET_c média igual a 3,0 mm dia⁻¹ e K_c de 0,64, ou seja, com o acréscimo do sorgo no sistema, é necessário o acréscimo de ~20% no K_c da palma forrageira, uma vez que o K_c da palma forrageira é de 0,52 de acordo com Queiroz et al. (2016).

Além da irrigação, em sistema consorciado, outro fator de elevada importância é a escolha da configuração de cultivo empregada, uma vez aumenta a diversificação e produtividade do sistema. Jardim et al. (2021a), avaliaram diferentes configurações de cultivo para o consórcio palma-sorgo, e constataram que a escolha do clone de palma e da cultivar de sorgo a ser utilizada no sistema de produção é determinante para o sucesso do cultivo, oferecendo assim maior lucratividade.

Uso de irrigação no semiárido e agricultura bioessalina

O estresse hídrico é um dos principais fatores que impactam a produção agrícola, pois afeta componentes fisiológicos, de crescimento e produtividade das plantas. Este pode ser ocasionado tanto pelo excesso (afetando a aeração na zona radicular e a lixiviação dos nutrientes) quanto pelo déficit (inibindo o crescimento, afetando a fisiologia do vegetal e sua produção), porém o estresse por deficiência é mais comum

(Araújo Júnior et al., 2019; Silva et al., 2015c), destacando-se a importância do uso de irrigação.

A irrigação torna-se uma estratégia indispensável no meio agrícola, uma vez que, busca suprir a necessidade hídrica das culturas, com redução dos impactos negativos e maximização da produção, promovendo bons resultados em relação a eficiência do sistema de produção, principalmente em regiões semiáridas, onde a escassez hídrica é um fator limitante (Cruz Neto et al., 2017; Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021e).

A agricultura de sequeiro no semiárido brasileiro, apresenta elevados riscos, principalmente devido as condições climáticas. Entretanto, deve-se levar em consideração que apenas 2 a 3% dessa região apresenta potencialidade para irrigação, isso se deve as limitações em relação a quantidade e qualidade das águas, além de limitações edáficas (Dubeux Júnior et al., 2010). Vale ressaltar, que cerca de 1/3 da água consumida para atender as atividades domésticas, industriais e agrícola são advindas de mananciais subterrâneos, com destaque para as regiões áridas e semiáridas, devido à escassez de águas superficiais (Silva et al., 2021). Nessas regiões, devido aos aspectos geológicos, as águas subterrâneas são comumente salobras (Dantas et al., 2014), podendo ser prejudiciais para as culturas se a presença de sais for muita elevada. Em contrapartida, a crescente demanda acelerada por produtos agrícolas, principalmente países em desenvolvimento e a incapacidade dos recursos terrestres e hídricos em sustentar tais demanda, remetem a necessidade em se utilizar terras e águas marginais, no entanto, o uso inadequado promove riscos como degradação ambiental e esgotamento dos recursos (Al-Shorepy et al., 2010).

Com isso, é necessário utilizar estratégias que possam vir a proporcionar maior produção agrícola, principalmente através do uso de águas subterrâneas, que por sua vez, apresentam baixa qualidade, devido aos íons presentes, os quais por muitas vezes desfavorecem o desenvolvimento/crescimento das culturas (SILVA et al., 2015d).

A salinidade apresenta efeitos osmóticos e específicos no crescimento dos vegetais. Em altos níveis pode promover redução no turgor das células, devido à perda de água. Além disso, o acúmulo de íons específicos (e.g., sódio) provocam interferência nos processos bioquímicos internos. Para mitigar tais condições, plantas tolerantes, desenvolvem mecanismos a custo energético, e,

por esse motivo são associados a redução na produção de biomassa (Masters et al., 2007).

As culturas sensíveis a salinidade, apresentam diminuição de 50% do crescimento quando submetidas a 4-5 dS m⁻¹, já as altamente tolerantes, reduzem 50% do seu crescimento sob níveis de salinidade acima de 40 dS m⁻¹, demonstrando que à medida que se aumenta o nível de salinidade plantas sensíveis reduzem gradualmente a taxa de crescimento e consequentemente a produção de biomassa (Masters et al., 2007).

As espécies vegetais podem ser divididas em dois grupos quando refere-se a ambientes salinos, em relação a sua resistência a exposição a concentrações de sal, sendo elas as halófitas e as glicófitas (Holanda et al., 2011). As halófitas são altamente resistentes a concentrações de sais, devido a capacidade em compartimentação dos íons em seu vacúolo, evitando que elevadas quantidades de sais alcancem o protoplasma, devido a regulação salina, que permite a tolerância aos efeitos tóxicos e osmóticos associados a salinidade. Já as glicófitas sob altas concentrações salinas inibem seu crescimento, principalmente devido à redução na habilidade de absorção da água, resultando em alterações em seu metabolismo (Holanda et al., 2011).

Muitas plantas crescem em condições salinas, as quais podem ser utilizadas para diversas finalidades. Em estudo com espécies da Caatinga Dantas et al. (2014) avaliaram o metabolismo germinativo de sementes sob diferentes condutividades elétricas (CE), e observaram que as espécies *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, *Myracrodruon urundeuva* (Fr. All.), *Aspidosperma pyrifolium* (Mart.) e *Erythrina velutina* (Willd.) apresentam elevada tolerância a salinidade, com mecanismos de germinação eficientes sob utilização de água salobra, e limitação em sua germinação a partir de 12 dS m⁻¹. Apesar disso, os autores indicaram produção de mudas com sucesso em CE inferiores a 6 dS m⁻¹.

Vale e Azevedo (2013) estudaram a produtividade do sorgo BRS Ponta Negra, capim elefante roxo e capim elefante verde submetidos a irrigação com água com diferentes CE (2,9 e 3,7 dS m⁻¹) e constataram que o sorgo BRS Ponta Negra apresenta maiores valores de proteína bruta e produtividade em massa fresca e seca em relação ao capim elefante, sugerindo o uso do sorgo em ambientes irrigados com água moderadamente salina. Santos et al. (2013) analisaram a tolerância do capim Marandu, e verificaram que a

composição bromatológica não foi afetada com a elevação da salinidade (0,03 a 5,0 dS m⁻¹), apresentando-se como recurso forrageiro alternativo em ambientes salinos.

Com a redução gradual dos recursos hídricos em quantidade e qualidade, principalmente em ambientes áridos e semiáridos, o uso de práticas agrícolas que visem a otimização do uso dessas águas é necessário. A agricultura bioassalada está incluída dentre essas práticas, uma vez que, busca a produção de culturas de interesse econômico sob utilização de água de irrigação e solos com diversos níveis de salinidade. A partir dessa agricultura o fornecimento de água de boa qualidade é reduzido, optando pelo uso de águas e solos marginais, principalmente na produção de forragem para alimentação animal (Días et al., 2018).

Densidade populacional e orientação de plantio

O aumento na quantidade de plantas por unidade de área, resulta em competição por recursos necessários para o crescimento da cultura. Com isso, o rendimento das culturas é determinado pela eficiência em que a população de plantas utiliza os recursos, tornando-se necessário a determinação da densidade ideal de plantio (Basiri e Nadjafi, 2019).

A densidade populacional é um fator importante no uso eficiente dos recursos disponíveis, tais como água, nutrientes e radiação solar, desempenhando papel fundamental na competição entre as culturas (Gao et al., 2021; Zhang et al., 2021). Quando a quantidade de plantas é superior ao ideal, a competição é aumentada, devido a maior limitação dos recursos, como consequência há alterações nos rendimentos (Siadat-Jamian et al., 2019).

Vários estudos têm demonstrado acréscimo na produtividade e em características morfológicas (e.g., altura de planta) das culturas através de modificações no arranjo de cultivo, pela redução do espaçamento entre linhas e elevação na densidade populacional (Demétrio et al., 2008; Takasu et al., 2014; Pereira et al., 2017). Demétrio et al. (2008) ressaltaram que o incremento da produtividade está associado a maior eficiência na interceptação luminosa. Silva et al. (2014c) em estudo com a palma forrageira submetida a diferentes densidades de plantio, verificaram que a resposta da palma é positiva ao aumento na densidade de plantio com até 80.000 plantas ha⁻¹. Segundo Rodrigues et al. (2018), em estudo com o sorgo sob diferentes densidades populacionais, observaram que as

características morfológicas e estruturais do sorgo não são alteradas pela modificação na densidade de plantio (25,91 a 66,36 plantas m⁻²). Em sistema consorciado com feijão-caupi, o sorgo, apresentou resposta positiva com a variação na densidade de plantio (Morgado, 2006).

A orientação de plantio por sua vez, está diretamente relacionada com a interceptação luminosa por parte das plantas, alterando os índices de sombreamento na linha de cultivo, a ação fotossintética, e consequentemente o desempenho produtivo dos vegetais (Corrêa et al., 2019). Para a palma forrageira, Peixoto et al. (2019) observaram que o sombreamento ocasionado pelo cajá (*Spondias* spp.), medindo aproximadamente 1,5 m de altura, reduziu a produção de massa verde da palma forrageira, entretanto, quando submetida a orientação Leste-Oeste a cultura apresentou incremento em sua produtividade.

Considerações finais

A partir da revisão, verificou-se que o uso de espécies adaptadas ao clima, juntamente com configuração ideal (e.g. densidade e orientação de cultivo), refletem em modificação nas características morfológicas e produtivas dos vegetais e, mesmo no êxito da produção com retorno positivo. Aliado a isso, o uso da agricultura biossalina e manejo adequados, em ambientes semiáridos, representam estratégia importantes para maximização da produção de forragem nestes. Ressalta-se ainda que, o maior aprofundamento das pesquisas em campo com as culturas da palma e sorgo podem permitir o entendimento das combinações de práticas de resiliência agrícola mais assertivas que permitam a maximização na produção de forragem.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE (APQ-0215-5.01/10 e FACEPE - APQ-1159-1.07/14). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (processos: 475279/2010-7, 476372/2012-7, 305286/2015-3, 309421 / 2018-7 e 152251/2018-9). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES (Código Financeiro 001) pela bolsa de pesquisa e estudo.

Referências

Aguiar, M. do S. M. A. Silva, F. F., Donato, S. L. R., Rodrigues, E. S. de O., Costa, L. T., Mateus,

R. G., Souza, D. R., Silva, V. L. 2015. Forage cactus in diets of confined dairy cattle: performance and economic viability. *Semina: Ciências Agrárias* 36, 1013-1030.

Aguirre-Gutiérrez, C. A., Holwerda, F., Goldsmith, G. R., Delgado, J., Yezpe, E., Carbajal, N., Escoto-Rodrigues, M., Arredondo, J. T. 2019. The importance of dew in the water balance of a continental semiarid grassland. *Journal of Arid Environments* 168, 26-35.

Al-Shorepy, S. A.; Alhadrami, G. A.; El Awad, A. I. 2010. Development of sheep and goat production system based on the use of salt-tolerant plants and marginal resources in the United Arab Emirates. *Small Ruminant Research* 91, 39–46.

Alves, C. P. Silva, T. G. F., Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. da R. F., Souza, L. S. B., Cruz Neto, J. F., Santos, J. P. A. de S. 2019. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros* 27, 347–356.

Alves, D. F.; Rebouças Filho, P. J.; Costa, P. V. M. 2018. Correlação entre a Inflação e a Exportação de carne bovina no Brasil de 2000 a 2015. *Revista brasileira de geografia econômica* 13, 1-15.

Amorim, D. M. Silva, T. G. F., Pereira, P. de 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, 62-71.

Araújo Júnior, G.N. Gomes, F. T., Silva, M. J., Jardim, A. M. F. da R., Simões, V. J. L. P., Izidro, J. L. P. S., Leite, M. L. de M. V., Teixeira, V. I., Silva, T. G. F. 2019. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. *PUBVET* 13, 1-10.

Araújo Júnior, G. N., Jardim, A. M. da R. F., Silva, M. J., Alves, C. P., Souza, C. A. A., Costa, S. A. T., Cunha, M. V., Simões, A. do N., Silva, J. R. I., Souza, L. S. B., Silva, T. G. F. 2021b. Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. *European Journal of Agronomy* 131.

Araújo Júnior, G. N., Queiroz, M. G., Jardim, A. M. F. da R., Araújo, J. F. N., Silva, T. G. F. Temperatura base da palma forrageira em sistema de cultivo consorciado com o sorgo. In: XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação do Semiárido Brasileiro, 2017,

- Anais... Juazeiro-BA/Petrolina-PE: SBAGRO, 2017.
- Araújo Júnior, N. Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Souza, M. de S., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B., Santos, J. P. A. de S., Jardim, A. M. F. da R., Alves, C. P., Alves, H. K. M. N. 2021a. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. *Bragantia* 80, 1–12.
- Barbosa, M. L. Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Ferreira, W. P. M. 2018. Environmental variables influencing the expression of morphological characteristics in clones of the forage cactus. *Revista Ciência Agronômica* 49, 399-408.
- Basiri, M. H.; Nadjafi, F. 2019. Effect of plant density on growth, yield and essential oil characteristics of Iranian Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) landraces. *Scientia Horticulturae* 257.
- Birthal P. S.; Hazrana J. 2019. Crop diversification and resilience of agriculture to climatic shocks: Evidence from India. *Agricultural Systems* 173, 345-354.
- Brito, C. S., Silva, R. M., Santos, C. A. G., Brasil Neto, R. M., Coelho, V. H. B. 2021. Monitoring meteorological drought in a semiarid region using two long-term satellite-estimated rainfall datasets: A case study of the Piranhas River basin, northeastern Brazil. *Atmospheric Research* 250.
- Campos, A. R. F., Silva, A. J. P., Lier, Q. de J. V., Nascimento, F. A. L., Fernandes, R. D. M., Almeida, J. N., Paz, V. P. 2021. Yield and morphology of forage cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. *Journal of Arid Environments* 193.
- Campos, F. S., Gois, G. V., Vicente, S. L. A., Macedo, A., Matias, A. G. de S. 2017. Alternativa de forragem para caprinos e ovinos criados no semiárido. *Nutri Time* 14, 5004-5013.
- Cardoso, M. J., Bastos, E. A., Sobrinho, C. A., Melo, F. de B. 2017. Agronomic performance of 'BRS' Itaim cowpea beans at different planting densities under no-tillage and conventional systems. *Revista Ciência Agronômica* 48, 856-861.
- Carvalho, A. A., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Moura, M. S. B., Araújo, G. G. L., Tolêdo, M. P. S. 2017. Soil moisture in forage cactus plantations with improvement practices for their resilience *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 21, 481–487, 2017.
- Carvalho, C. B. M., Edvan, R. L., Carvalho, M.L.A.M., Reis, A.L.A., Nascimento, R.R. 2018. Uso de cactáceas na alimentação animal e seu armazenamento após colheita. *Archivos de Zootecnia* 67, 440-446.
- Cavalcante, L. A. D. Santos, G. R. de A., Silva, L. M., Fagundes, J. L., Silva, M. A. 2014. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 44, 424–433.
- Ceccon, G. Makino, P. A., Alves, V. B., Fachinelli, R., Luz, R. A. 2018. Produtividade De Cultivares De Sorgo Sacarino Em Diferentes Épocas De Semeadura E Tipos De Solo. *Journal of Neotropical Agriculture* 5, 69–75.
- Chandra, A., Dargusch, P., McNamara, K. E., Caspe, A. M., Dalabajan, D. 2017. A Study of Climate-Smart Farming Practices and Climate-resiliency Field Schools in Mindanao, the Philippines. *World Development* 98, 214-230.
- Chimonyo, V. G. P., Modi, A. T., Mabhaudhi, T. 2018. Sorghum radiation use efficiency and biomass partitioning in intercrop systems. *South African Journal of Botany* 118, 76–84.
- Chimonyo, V. G. P., Modi, A. T., Mabhaudhi, T. Water use and productivity of a sorghum-cowpea-bottle gourd intercrop system. *Agricultural Water Management* 165, 82–96.
- Clay, N.; Zimmerer, K. S. 2020. Who is resilient in Africa's Green Revolution? Sustainable intensification and Climate Smart Agriculture in Rwanda. *Land Use Policy* 97.
- Coelho, D. S., Simões, W. L., Mendes, A. M. S., Dantas, B. F., Rodrigues, J. A. S., Souza, M. A. 2014. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18, 25–30.
- Coêlho, J. J., Cunha, M. V., Dantos, M. V. F., Dubeux, J. C. B., Mello, A. C. L. 2021. Exotic forage grasses in the Brazilian semi-arid region: Forage mass, competitiveness, and botanical similarities of non-native pastures. *Journal of Arid Environments* 193.
- Corrêa, R. D. G., Furlani, C. E. A., Zerbato, C., Oliveira, D. T., Noronha, R. H. de F., Warikoba, N. K. 2019. Sowing operation direction and population densities in corn growing. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23, 183-187.
- Costa, M. S., Oliveira- Júnior, J. F., Santos, P. J., Correia Filho, W. L. F., Gois, G., Blanco, C. J.

- C., Teodoro, P. E., Silva Junior, C. A., Santiago, B. D., 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* 41, E2111-E2135.
- Costa, J. P., N. Costa, A. R. F. C., Medeiros, J. F., Silva, M. V. T., Lino, V. A. da S. 2019. Desempenho De Variedades De Sorgo Dupla Aptidão Submetidas a Diferentes Lâminas De Irrigação Com Água Salina. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 18, 417–428.
- Cristiano, S. 2021. Organic vegetables from community-supported agriculture in Italy: Emergy assessment and potential for sustainable, just, and resilient urban-rural local food production. *Journal of Cleaner Production* 292.
- Cruz, S. S., Andreotti, M., Pascoaloto, I. M., Lima, G. C., Soares, C. de A. 2020. Production in forage sorghum intercropped with grasses and pigeon pea at crop cutting. *Revista Ciência Agronômica* 51.
- Cruz Neto, J. F., Morais, J. E. F., de Souza, C. A. A., de Sousa Carvalho, H. F., Rodrigues, C. T. A., Silva, T. G. F. 2017. Aplicabilidade de indicadores agrometeorológicos para análise do incremento de água por irrigação em sistemas de produção da palma forrageira, cv. Miúda. *Journal of Environmental Analysis and Progress* 98-106.
- Cruz Neto, J. F., Jardim, A. M. R. F., de Souza, L. S. B., Silva, T. G. F. 2021. Desertificação: uma visão geral dos processos e conceitos, fundamentados em aplicação de índices orbitais através do sensoriamento remoto. *Research, Society and Development* 10, e585101119950.
- Cunha, A. P. M. A., Alvalá, R. C., Nobre, C. A., Carvalho, M. A. 2015. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. *Agricultural and Forest Meteorology* 214-215, 494-495.
- Dantas, B. F. Ribeiro, R. C., Matias, J. R., Araújo, G. G. L. 2014. Germinative metabolism of Caatinga forest species in biosaline agriculture. *Journal of Seed Science* 36, 194–203.
- Demétrio, C. S., Fornasieri Filho, D., Cazetta, J. O., Cazetta, D. A. 2008. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43.
- Días, F.J. Grattan, S. R., Reyes, J. A., Roza-Delgado, B., Benes, S. E., Jiménez, C., Dorta, M., Tejedor, M. 2018. Using saline soil and marginal quality water to produce alfalfa in arid climates. *Agricultural Water Management* 199, 11-21.
- Diniz, W. J. da S. Siva, T. G. F., Ferreira, J. M. da 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. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 52, 724-733.
- Dubeux Júnior, J. C. B., Araújo Filho, J. T., Santos, M. V. F., Lira, M. de A., Santos, D. C., Pessoa, R. A. S. 2010. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira - Clone IPA-201. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 5, 129-135.
- Edvan, R. L., Mota, R. R. M., Dias-silva, T. P., Nascimento, R. R., Sousa, S. V., Silva, A. L., Araújo, M. J., Araújo, J. S. 2020. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. *Scientific Reports* 10.
- Eswaran, R., Nejadhashemi, A. P., Alves, F. C., Saravi, B. 2021. Evaluating the applicability of soil moisture-based metrics for gauging the resiliency of rainfed agricultural systems in the midwestern United States. *Soil and Tillage Research* 205.
- Elias, O. F. A. E S., Leite, M. L. de M. V., Azevedo, J. M., Silva, J. P. S. de S., Nascimento, G. F., Simplício, J. B. 2017. Características Agronômicas De Cultivares De Sorgo Em Sistema De Plantio Direto No Semiárido De Pernambuco. *Revista Ciência Agrícola* 14, 29–36.
- Franco-Salazar, V. A., Véliz, J. A. 2008. Efectos de la salinidad sobre el crecimiento, acidez titulable y concentración de clorofila en *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente* 20, 12–17.
- Frei, B., Queiroz, C., Chaplin-Kramer, B., Andersson, E., Renard, D., Rhemtulla, J. M., Bennett, E. M. 2020. A brighter future: Complementary goals of diversity and multifunctionality to build resilient agricultural landscapes. *Global Food Security* 26.
- Gajender, R. K. Y., Yadav, R. K., Dagar, J. C., Lal, K., Singh, G. 2013. Growth and fruit characteristics of edible cactus (*Opuntia ficus-indica*) under salt stress environment. *Journal of Soil Salinity and Water Quality* 5, 136–142.
- Gao, Y., Zhang, M., Yao, C., Liu, Y., Wang, Z., Zhang, Y. 2021. Increasing seeding density under limited irrigation improves crop yield and

- water productivity of winter wheat by constructing a reasonable population architecture. *Agricultural Water Management* 253.
- Gilman, I. S., Edwards, E. J. 2020. Crassulacean acid metabolism. *Current Biology* 30, R57–R62.
- Ginestra, G., Parker, M. L., Bennett, R. N., Robertson, J., Mandalari, G., Narbad, A., Curto, R. B., Bisignano, G., Faulds, C. B., Waldron, K. W. 2009. Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 10323–10330.
- Hassan, S. Inglese, P., Gristina, L., Liguori, G., Novara, A., Louhaichi, M., Sortino, G. 2019. Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. *European Journal of Agronomy* 105, 104–110.
- Holanda, J.S., Amorim, J. R. A., Ferreira Neto, M., Holanda, A. C., Sá, F. V. S. In: GHEYI, H. R. et al (Ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 35–50.
- Holanda, J. S. Araújo, F. S., Gallão, M. I., Medeiros Filho, S. 2011. Impacto da salinidade no desenvolvimento e crescimento de mudas de carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) H.E. Moore). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15, 47–52.
- Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., Saadi, F. A. 2020. A novel hybrid approach for synchronized development of sustainability and resiliency in the wheat network. *Computers and Electronics in Agriculture* 168.
- Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Souza, M. S., Morais, J. E. F., Araújo Júnior, G. N. 2020a. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 24, 756–761.
- Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Souza, M. S. 2020b. Interaction of agroecosystem intercropped with forage cactus-sorghum in the semi-arid environment: a review. *Journal of Environmental Analysis and Progress* 5, 069–087.
- Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. do N., Alves, H. K. M. N., Souza, M. de S., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B. 2021a. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *Journal of Arid Environments*, 188.
- Jardim, A. M. R. F., Santos, H. R. B., Alves, H. K. M. N., Ferreira-Silva, S. L., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. N., Souza, M. S., Araújo, G. G. L., Souza, C. A. A., Silva, T. G. F. 2021b. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. *Plant Physiology and Biochemistry* 162, 421–430.
- Jardim, A. M. R. F., Silva, M. V., Silva, A. R., dos Santos, A., Pandorfi, H., Oliveira-Júnior, J. F., de Lima, J. L. M. P., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. N., Lopes, P. M. O., Moura, G. B. A., Silva, T. G. F. 2021c. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 105733.
- Jardim, A. M. R. F., Souza, L. S. B., Alves, C. P., Araújo, J. F. N., Souza, C. A. A., Pinheiro, A. G., Araújo, G. G. L., Campos, F. S., Tabosa, J. N., Silva, T. G. F. 2021d. Intercropping forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus. *African Journal of Range and Forage Science*, 38, 1–12
- Jardim, A. M. R. F., Silva, J. R. I., Silva, M. V., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. N., Alves, H. K. M. N., Mesquita, M., Souza, P. J. O. P., Teixeira, A. H. C., Silva, T. G. F. 2021e. Modelling the Darcy–Weisbach friction factor and the energy gradient of the lateral line. *Irrigation and Drainage* 70, 1–13.
- Lédo, A. A., Donato, S. L. R., Aspiazú, I., Silva, J. A., Brito, C. F. B., Donato, P. E. R. 2021. Nutritional balance and recovery rate of macronutrients by ‘Gigante’ cactus pear under different fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 25, 82–89.
- Lemos, M. Ferreira-Neto, M., Fernandes, C dos S., Lima, Y. B., Dias, N. da S., Medeiros, J. F., Brito, R. F., Sá, F. V. da S. 2021. The effect of domestic sewage effluent and planting density on growth and yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. *Journal of Arid Environments* 185.
- Li, Q., Zhang, C., She, Y., Jia, W., Li, J. 2016. Quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification processes on the Qinghai-Tibet Plateau based on net primary productivity. *CATENA* 147, 789–796.

- Lima, A. S., Silva, P. F., Matos, R. M., Dantas Neto, J., Saboya, L. M. F., Almeida, H. A. 2021. Consumo hídrico e exigência térmica da palma forrageira em ambiente semiárido. *Irriga* 1, 110-128.
- Lima, L. R., Silva, T. G. F., Jardim, A. M. da R. F., Souza, C. A. A., Queiroz, M. G., Tabosa, J. N. 2018a. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 22, 113-118.
- Lima, L. R., Silva, T. G. F., Pereira, P. de C., Morais, J. E. F., Assis, M. C de S. 2018b. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. *Revista Caatinga* 31, 191-201.
- Liu, D., Palla, K. J., Hu, R., Moseley, R. C., Mendoza, C., Chen, M., Abraham, P. E., Labbé, J. L., Kalluri, U. C., Tschaplinski, T. J., Cushman, J. C., Borland, A. M., Tuskan, G. A., Yang, X. 2018. Perspectives on the basic and applied aspects of crassulacean acid metabolism (CAM) research. *Plant Science* 274, 394-401.
- Lu, J., Xu, Y., Meng, Z., Cao, M., Liu, S., Kato-Noguchi, H., Yu, W., Jin, B., Wang, L. 2021. Integration of morphological, physiological and multi-omics analysis reveals the optimal planting density improving leaf yield and active compound accumulation in *Ginkgo biloba*. *Industrial Crops and Products* 172.
- Macêdo, A. J. da S., Santos, E. M., Oliveira, J. S., Perazzo, A. F. 2017. Produção de silagem na forma de ração à base de palma: Revisão de Literatura. *Revista Eletrônica de Veterinária* 18, 1-11.
- Maia, A. L., Gurgel T. C. N. P. Um olhar sobre a utilização de plantas forrageiras da caatinga como estratégia de convivência com a seca no alto oeste potiguar. *GEOTemas*, v. 3, n. 1, p. 31-43, 2013.
- Masters, D. G., Benes, S. E., Norman, H. C. 2007. Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119, 234-248.
- Masvaya, E. N., Nyamangara, J., Descheemaeker, K., Giller, K. E. 2017. Is maize-cowpea intercropping a viable option for smallholder farms in the risky environments of semi-arid southern Africa. *Field Crops Research* 209, 73-87.
- Matos, L. V., Donato, S. F. R., Silva, B. L., Kondo, M. K., Lani, J. L. 2020. Structural characteristics and yield of 'gigante' cactus pear in agroecosystems in the semi-arid region of Bahia, Brazil. *Revista Caatinga* 33, 1111-1123.
- Matthews, R. B., Rivington, M., Muhammed, S., Newton, A. C., Hallett, P. D. 2013. Adapting crops and cropping systems to future climates to ensure food security: The role of crop modelling. *Global Food Security* 2, 24-28.
- Meira, A. N., Givisiez, P. E. N., Souza, Francisca G. C., Leon, C. M. G. C., Azevedo, P. S., Silva, N. M. V., Oliveira, C. J. B. 2021. Food security and safety mismatch in low-income settings: Evidence from milk produced by smallholders in semiarid Paraíba, Northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments* 188.
- Montenegro, S., Ragab, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology* 434-435, 55-68.
- Moraes, G. S. de O., Guim, A., Tabosa, J. N., Chagas, J. C. C., Almeida, M. de P., Ferreira, M de A. 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., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B., Araújo Júnior, G. do 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, 273-278.
- Morgado, L. B. 2006. Estudo sobre densidade de plantio de sorgo e feijão-caupi. *Revista Ciência Agrônômica* 37, 357-363.
- Moroda, G. T., Tolossa, D., Semie, N. 2018. Perception and adaptation strategies of rural people against the adverse effects of climate variability: A case study of Boset District, East Shewa, Ethiopia. *Environmental Development* 27, 2-13.
- 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.
- Nazli, R. I. 2020. Evaluation of different sweet sorghum cultivars for bioethanol yield potential and bagasse combustion characteristics in a semiarid Mediterranean environment. *Biomass and Bioenergy* 139.
- Nhaga, A. O. Pinto, C. de M., Salles, M. G. F., Pinro, O. R. de O., Sousa, F. A. 2018. Controle da cochonilha de escama da palma forrageira

- com o uso de extrato de nim. Centro Científico Conhecer 15, 312–340.
- Nikalje, G. C., Srivastava, A. K., Pandey, G. K., Suprasanna, P. 2017. Halophytes in biosaline agriculture: Mechanism, utilization, and value addition. *Land degradation & development* 29, 1081-1095.
- Nunes, A. T., Cabral, D. L. V., Amorim, E. L. C., Santos, M. V. F., Albuquerque, U. P. 2020. Plants used to feed ruminants in semi-arid Brazil: A study of nutritional composition guided by local ecological knowledge. *Journal of Arid Environments*. 135, 96-103.
- Nunes, J. da S. L. Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. do N., Carvalho, A. A., Souza, L. S. B., Montenegro, A. A. de 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, 128–139.
- Nxele, X., Klein, A., Ndimba, B. K. 2017. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. *South African Journal of Botany* 108, 261–266.
- Oliveira-Júnior, J. F., Mendes, D., Correia Filho, W. L. F., Silva Junior, C. A., Gois, G., Jardim, A. M. R. F., Silva, M. V., Lyra, G. B., Teodoro, P. E., Pimentel, L. C. G., Lima, M., Santiago, D. B., Rogerio, J. P., Marinho, A. A. R. 2021a. Fire Foci in South America: Impact and Causes, Fire Hazard and Future Scenarios. *Journal of South American Earth Sciences* 112, 103623.
- Oliveira-Júnior, J. F., de Gois, G., de Lima Silva, I. J., de Oliveira Souza, E., Jardim, A. M. R. F., Silva, M. V., Jamjareegulgarn, P. 2021b. Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 224, 105746.
- Peixoto, M. J. A., Carneiro, M. S. de S., Amorim, D. S., Edvan, R. L., Pereira, E. S., Costa, M. R. G. F. 2018. Características agrônômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. *Archivos de Zootecnia* 67, 35-39.
- Perazzo, A. F., Santos, E. M., Pinho, R. M. A., Campos, F. S., Ramos, J. P. de F., Aquino, M. M., Silva, T. C., Bezerra, H. F. C. 2013. Características agrônômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. *Ciência Rural* 43, 1771-1776.
- Pereira Filho, J.M., Silva, A. M. de A.; Cézar, M. F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 14.
- Pereira, J. D. S., Cavalcante, A. B., Simões, W. L., Voltolini, T. V. 2021. Forage yield, structural responses and chemical composition of spineless cactus Orelha de Elefante Mexicana in different water depths and irrigation frequencies. *Ciencia Ruarl* 51, 1-7.
- Pereira, L. B., Machado, D. S., Alves Filho, D. C., Brondani, I. L., Silva, V. S., Argenta, F. M., Moura, A. F. Borchate, D. 2017. Características agrônômicas da planta e produtividade da silagem e grãos de milho submetido a diferentes arranjos populacionais. *Magistra* 29, 18-27.
- Pessoa, D. V., Andrade, A. P., Magalhães, A. L. R., Teodoro, A. L., Santos, D. C., Araujo, G. G. L., Medeiros, A. N., Nascimento, D. B., Valença, R de L., Cardoso, D. B. 2020. Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: Nutritional value. *Journal of Arid Environments* 181.
- Pinheiro, A. G., Souza, L. S. B., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Alves, C. P., Souza, C. A. A., Leite, R. M. C., Silva, T. G. F. 2021. Lacunas de produtividades e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira - Revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 2403-2426.
- Pino, F., Heinrichs, A. J. 2017. Sorghum forage in precision-fed dairy heifer diets. *Journal of Dairy Science* 100, 224-235.
- Punia, H. Tokas, J., Malik, A., Singh, S., Phogat, D. S., Bhuker, A., Mor, V. S., Rani, A., Sheokand, R. N. 2020. Discerning morphophysiological and quality traits contributing to salinity tolerance acquisition in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *South African Journal of Botany*, 1–10,
- Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Lima, L. R., Alves, J. de 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., Silva, S. M. S., Souza, C. A. A., Carvalho, H. F. de S. 2016. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em Ambiente Semiárido. *Irriga* 1, 141-154.
- Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Araújo Júnior, G do N., Jardim, A. M. da R. F., Silva, M. J.,

- Souza, C. A. A. 2018. Procedimento metodológico para análise da distribuição da chuva e extrato do balanço hídrico no semiárido: estudo de caso. *Scientia Plena* 14.
- Rai, R. K., Bhatta, L. D., Acharya, U., Bhatta, A. P. 2018. Assessing climate-resilient agriculture for smallholders. *Environmental Development*, 27, 26-33.
- Ramos, J. P. de F., Souza, J. T. A., Santos, E. M., Pimenta Filho, E. C., Ribeiro, O. L. 2017. Crescimento e Produtividade de *Nopalea cochenillifera* em função de diferentes densidades de plantio em cultivo com e sem capina. *Revista Electrónica de Veterinária* 18, 1-12.
- Rao, C. S., Kareemulla, K., Krishnan, P., Murthy, G. R. K., Ramesh, P., Ananthan, P. S., Joshi, P. K. 2019. Agro-ecosystem based sustainability indicators for climate resilient agriculture in India: A conceptual framework. *Ecological Indicators* 105, 621-633.
- Rocha Filho, R. R., Santos, D. C., Vêras, A. S. C., Siqueira, M. C. B., Novaes, L. P., Mora-Luna, R., Monteiro, C. C. F., Ferreira, M. A. 2021. Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in dryland areas?. *Journal of Arid Environments* 186.
- Rocha, J. E. da S. 2012. Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte. *Embrapa Caprinos e Ovinos*, p. 40.
- Rocha, R. S., Voltolini, T. V., Gava, C. A. T. 2017. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. *Archivos de Zootecnia* 66, 363-371.
- Rodrigues, L. S., Alves Filho, D. C., Brondani, I. L., Silva, V. S., Paula, P. C., Adams, S. M., Martini, P. M., Martini, A. P. M. 2018. Variáveis morfológicas e estruturais de sorgo forrageiro implantado com diferentes arranjos populacionais sob pastoreio contínuo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 70, n. 1, p. 287-296, 2018.
- Roy, R., Gain, A. K., Samat, N., Hurlbert, M., Tan, M. L., Chan, N. C. 2019. Resilience of coastal agricultural systems in Bangladesh: Assessment for agroecosystem stewardship strategies. *Ecological Indicators* 106.
- Sabino, F. da C., Souza, L. S. B., Souza, M. A. G., Barros, J. P. A., Lucena, L. R. R., Jardim, A. M. da R. F., Rocha, A. K. P., Silva, T. G. F. 2021. Morphological characteristics, biomass accumulation and gas exchange of an important species native for restoration in Semi-arid Brazilian areas affected by salt and water stress. *Plant Stress* 2.
- Sá Júnior, E. H., Cruz, M. G., Leite, M. L. de M. V., Lucena, L. R. R. 2018. Características agronômicas de capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) adubado com esterco suíno e submetido a duas alturas de corte. *Revista Ciência Agrícola* 16, 1-9.
- Saadat, S., Homaei, M. 2015. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. *Agricultural Water Management* 152, 119-124.
- Salvador, K. R. S., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Pereira, R. C. G., Souza, L.S.B., Silva, T. G. F. 2021. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 2322-2343.
- Santos, D. B., Voltolini, T. V., Azevedo, C. A. V., Nogueira, D. M., Silva, A. S., Medeiros, S. S. 2013. Tolerância do Capim Marandu a Salinidade. *Revista Educação Agrícola Superior* 28, 63-66.
- Santos, L. P., Avelar, J. M. B., Shikida, P., Carvalho, M. A. 2016. Agronegócio brasileiro no comércio internacional. *Revista de Ciências Agrárias* 39, 54-69.
- Santos, M. A., Santos, B. R. C. 2018. Silagem da palma forrageira consorciada com resíduos da mandioca e bagaço da cana-de-açúcar: Revisão. *PUBVET* 12, 1-8.
- Santos, N. S., Silva, J. C. de S., Pereira, W. S., Melo, J. L. R., Lima, K. V., LIMA, D. O., Lima, K. F., Almeida, R. S. 2020. Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. *Revista Craibeiras de Agroecologia* 5.
- Santos, T. do N. Dutra, E. D., Prado, A. G., Leite, F. C. B., Souza, R. de F. R., Santos, D. C., Abreu, C. A. M., Simões, D. A., Morais, M. A., Menezes, R. S. C. 2016. Potential for biofuels from the biomass of prickly pear cladodes: Challenges for bioethanol and biogas production in dry areas. *Biomass and Bioenergy* 85, 215-222.
- Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P., Bianco, R. L. 2016. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany* 122, 158-167.
- Siadat-Jamian, S., Aghaalkhani, M., Soufizadeh, S., Mokhtassi-Bidgoli, A. 2019. Qualitative and quantitative response of artichoke to irrigation

- treatments and planting densities. *Scientia Horticulturae* 253, 422-428.
- Silva, A. S., Santos, E. M., Ramos, J. P., Perazzo, A. F., Muniz, A. C. S., Santos, F. N. de S., Pereira, D. M., Cruz, G. F. de L. 2019. Características agronômicas de variedades de *Opuntia cochenillifera* e *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. *Colloquium Agrariae* 15, 88-96.
- Silva, F. G., Dutra, W. F., Dutra, A. F., Oliveira, I. M., Filgueiras, L. M. B., Melo, A. S. 2015c. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19.
- Silva, J. E. S. B., Matias, J. R., Guirra, K. S., Aragão, C. A., Araújo, G. G. L., Dantas, B. F. 2015d. Development of seedlings of watermelon cv. Crimson Sweet irrigated with biosaline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19, 835-840.
- Silva, J. L. B. DA, Moura, G. B. de A., Silva, M. V., Lopes, P. M. O., Guedes, R. V. de S., Silva, E. F. de F. Ortiz, P. F. S., Rodrigues, J. A. de M. 2020b. 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* 20.
- Silva, J. L. DE A., Medeiros, J. F., Alves, S. S. V., Oliveira, F. de A., Silva Júnior, M. J., Nascimento, I. B. 2014b. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18, 66-72.
- Silva, J. R. I., Souza, R. M. S., Santos, W. A., Almeida, A. Q., Souza, E. S., Antonino, A. C. 2017. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. *Scientia Plena* 13.
- Silva, L. M., Fagundes, J. L., Viegas, P. A. A., Muniz, E. N., Rangel, J. H. de A., Moreira, A. L., Backes, A. A., 2014c. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciencia Rural* 44, 2064-2071.
- Silva, M. I., Gonçalves, A. M. L., Lopes, W. A., Lima, M. T. V., Costa, C. T. F., Paris, M., Firmino, P. R. A., Paula Filho, F. J. 2021. Assessment of groundwater quality in a Brazilian semiarid basin using an integration of GIS, water quality index and multivariate statistical techniques. *Journal of Hydrology* 598.
- Silva, M. V., Pandorfi, H., Lopes, P. M. O., Silva, J. L. B., Almeida, G. L. P., Silva, D. A. de O., Santos, A., Rodrigues, J. A. de M., Batista, P. H. D., Jardim, A. M. da R. F. 2020c. Pilot monitoring of caatinga spatial-temporal dynamics through the action of agriculture and livestock in the Brazilian semiarid. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 19.
- Silva, M. V., Pandorfi, H., Almeida, G. L. P., Lima, R. P., Santos, A., Jardim, A. M. da R. F., Rolim, M. M., Silva, J. L. B., Batista, P. H. D., Silva, R. Â. B., Lopes, P. M. O., Silva, D. C., 2021. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences* 107.
- Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Silva, S. M. S., Moura, M. S. B., Santos, D. C., Silva, M da C., Araújo, J. E. M. 2014a. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. *Bragantia*, 73, 184-191.
- Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Moraes, J. E. F., Diniz, W. J. da S., Souza, C. A. A., Silva, M da C. 2015a. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga* 28, 10-18.
- Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Moura, M. S. B., Silva, S. M. S., Moraes, J. E. F., Pereira, P. de C., Souza, C. A. A. 2015b. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50 515-525.
- Silva, T. G. F., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B., Souza, L. S. B. 2017. Agrometeorological research on forage cactus and its advances in Brazil. *Amazonian Journal of Plant Research* 2, 45-68.
- Silva, T. G. F., Queiroz, M. G., Zolnier, S., Souza, L. S. B., Souza, C. A. A., Moura, M. S. B., Araújo, G. G. L., Steidle Neto, A. J., Santos, T. S., Melo, A. L., Cruz Neto, J. F., Silva, M. J., Alves, H. K. M. N. 2021a. Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area. *Soil and Tillage Research* 207.
- Silva, T. I., Santana, L. D., Camara, F. T., Pinto, A. A., Brito, L. L. M., Mota, A. M. D. 2017.

- Produtividade de variedades de sorgo em diferentes arranjos populacionais em primeiro corte e rebrota. *Espacios* 38.
- Souza Filho, P. F., Ribeiro, V. T., Santos, E. S., Macedo, G. R. 2016. Simultaneous saccharification and fermentation of cactus pear biomass—evaluation of using different pretreatments. *Industrial Crops and Products* 89, 425-433.
- Souza, M. G., Araujo, J. K. S., Ferreira, T. I., Andrade, G. R. P., Araújo Filho, J. C., Fracetto, G. G. M., Santos, J. C. B., Fracetto, F. J. C., Lima, G. K., Souza Junior, V. 2021. Long-term effects of irrigated agriculture on Luvisol pedogenesis in semi-arid region, northeastern Brazil. *CATENA* 206.
- SUDENE. Delimitação do semiárido. 2017. Disponível em: < <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>>. Acessado em 12 de Ago de 2019.
- Šūmane, S., Kunda, I., Knickel., Strauss, A., Tisenkopfs., Rios, I., Rivera, M., Chebach, T., Ashkenazy, A. 2018. Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. *Journal of Rural Studies* 59, 232–241.
- Sun, W., Yang, X., Su, J., Guan, Z., Jiang., J., Chen, F., Fang, W., Zhang, F. 2019. The genetics of planting density-dependent branching in chrysanthemum. *Scientia Horticulturae* 256.
- Takasu, A. T., Rodrigues, R. A. F., Goes, R. J., Haga, O. A. K. I. 2014. Desempenho agrônomo do milho sob diferentes arranjos populacionais e espaçamento entrelinhas. *Revista Agrarian* 7, 34-41.
- Tang, C., Yang, X., Chen, X., Ameen, A., Xie, G. 2018. Sorghum biomass and quality and soil nitrogen balance response to nitrogen rate on semiarid marginal land. *Field Crops Research* 215, 12-22.
- Teixeira, G.C da S., Stone, L. F., Heinemann, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 45, n. 1, p. 9-17, 2015.
- Teixeira, E. I., Ruiter, J., Ausseil, A-G., Daigneault, A., Johnstone, P., Holmes, A., Tait, A., Ewert, F. 2018. Adapting crop rotations to climate change in regional impact modelling assessments. *Science of The Total Environment* 616–617, 785-795.
- Vale, M. B., Azevedo, P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. *Holos*, v. 3, p. 181, 2013.
- Xiao, M. Z., Sun, R., Du, Z-Y., Yang, W-B., Yuan, T-Q. 2021. A sustainable agricultural strategy integrating Cd-contaminated soils remediation and bioethanol production using sorghum cultivars. *Industrial Crops and Products* 162.
- Zhang, X-F., Luo, C-L., Mo, F., Ren, H-X., Mburu, D., Kavagi, L., Dai, R-Z., Wesly, K., Ren, A-T., Nyende, A. B., Xiong, Y-C. 2021. Density-dependent maize (*Zea mays* L.) yield increase in trade-off in reproductive allocation and water use under ridge-furrow plastic-mulching. *Field Crops Research* 264.
- Zhang, Z., Yu, K., Siddique, K. H. M., Nan, Z. 2019b. Phenology and sowing time affect water use in four warm-season annual grasses under a semi-arid environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 269-270, 257-269.
- Zhang, Z., Chirstensnen, M., Nan, Z., Whish, J. P. M., Bell, L. E., Wang, Z., Sim, R. 2019a. Plant development and solar radiation interception of four annual forage plants in response to sowing date in a semi-arid environment. *Industrial Crops and Products* 131, 41-53.
- Zhu, L., Wang, D., Sun, J., Mu, Y., Pu, W., Ma, B., Ren, F., Yan, W., Zhang, Z., Li, G., Pan, Y. 2019. Phenotypic and proteomic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor*) albino lethal mutant *sbe6-a1*. *Plant Physiology and Biochemistry* 139, 400–410.