Revista Brasileira de Geografia Física

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

Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão

Kaique Renan da Silva Salvador¹, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim², George do Nascimento Araújo Júnior³, Cleber Pereira Alves⁴, Antonio Gebson Pinheiro⁵, Regina Crisóstomo Grangeiro Pereira⁶, Luciana Sandra Bastos de Souza⁷, Thieres George Freire da Silva⁸

¹ Mestrando em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, kaiquersalvador@gmail.com. ² 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. 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, georgearaujo.agro@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, cleberp.alves@hotmail.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 Graduanda em Agronomia 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, regina.grancris@gmail.com. ⁷ 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, sandrabastos@yahoo.com.br. 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 (autor correspondente).

Artigo recebido em 07/01/2021 e aceito em 28/07/2021

RESUMO

A baixa produtividade de forragem no semiárido brasileiro atrela-se a escassez hídrica e condições climáticas, estas perturbações abióticas afetam o desenvolvimento da pecuária e economia local. Buscando contornar a situação, são de suma importância a utilização de espécies forrageiras adaptadas às condições climáticas como a palma, planta rica em nutrientes, bastante apreciada pelos animais, porém é carente em fibra e proteína, tornando-se necessário a utilização de outras plantas forrageiras como o sorgo, milho, feijão-guandu e girassol forrageiro, ambas as espécies possuem elevados teores de fibras e proteína, e com isso, complementam-se e possibilitam a produção de dietas mais balanceada para os rebanhos. Todavia, o maior rendimento das culturas é observado com a implantação de práticas resilientes como a irrigação, adoção de cobertura morta, consorciação, o que promove sistemas mais sustentáveis e com alto potencial forrageiro. Nesta revisão, objetivou-se avaliar a utilização de diferentes práticas agrônômicas para aumentar a produtividade e sustentabilidades dos cultivos de palma forrageira e culturas de apelo regional para o semiárido brasileiro. Conclui-se que a intensificação sustentável dos cultivos agrícolas, por meio da irrigação complementar, cobertura morta, consórcio com palma forrageira e espécies vegetais adaptadas ao semiárido brasileiro, podem promover aumento na produção de forragem sem efeitos adversos aos ecossistemas.

Palavras-chave: consórcio, intensificação sustentável, irrigação, *Opuntia*.

Intensification of forage cactus production systems by rotating intercropping with grasses, legumes, and oilseeds: A review

ABSTRACT

The low forage productivity in the Brazilian semi-arid is linked to water scarcity and climatic conditions, these abiotic disturbances affect the development of livestock and the local economy. Seeking to circumvent the situation, the use of forage species adapted to climatic conditions is of paramount importance, such as forage cactus, a crop rich in nutrients, much appreciated by animals, but lacking in fiber and protein, making it necessary to use other forage plants like sorghum, millet, pigeon pea and forage sunflower, both species have high levels of fiber and protein, and with this, they complement each other and enable the production of more balanced diets for herds. However, the higher yield of crops is observed with the implementation of resilient practices such as irrigation, adoption of mulch, intercropping, which promotes more sustainable systems with high forage potential. In this review, the objective was to evaluate the use of different agronomic practices to increase the productivity and sustainability of forage cactus crops and crops of regional appeal to the Brazilian semi-arid region. It is concluded that the sustainable intensification of agricultural crops, through complementary irrigation, mulch, intercropping with forage cactus, and plant species adapted to the Brazilian semi-arid region, can promote an increase in forage production without adverse effects on ecosystems.

Keywords: intercropping, sustainable intensification, irrigation, *Opuntia*.

Introdução

Com os efeitos das mudanças climáticas e crescente demanda de alimentos em todo mundo, necessita-se da implementação de sistemas agrícolas mais sustentáveis e ecológicos (Schut et al., 2016; Jardim et al., 2021a). Buscando-se este fator de benefício para o setor produtivo, a intensificação sustentável (IS) em sistemas de produção permite aumentar a produtividade em áreas já existentes e, reduzir os impactos nocivos ao meio ambiente e mantendo os ecossistemas intactos (Scherer et al., 2018; Mouratiadou et al., 2021). No entanto, o êxito da IS está atrelado a adequação do contexto de cada região (i.e., fertilidade do solo, padrão pluviométrico, utilização de espécies melhoradas e adaptada, manejos agrônômicos), e incentivos governamentais (Palosuo et al., 2021; Zulu et al., 2021).

Estas práticas vão auxiliar na tomada de decisão no semiárido do Nordeste brasileiro, onde, é muito afetado pelas alterações climáticas, resultando em prejuízos para a agricultura familiar e pecuária local, tornando-as vulneráveis e com baixo rendimento (Andrade et al., 2013; Minuzzi et al., 2014). Para minimizar estes efeitos, torna-se necessário a busca por alternativas que contornem estes efeitos climáticos adversos, como a utilização de espécies vegetais resistentes ou tolerantes e, com isso, potencializar a agricultura local (Pereira et al., 2015; Diniz et al., 2017; Biesdorf et al., 2019).

Na busca pela maximização na produção de forragem, destaca-se a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), adaptada às condições adversas da região, devido à presença do metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), o que a torna eficiente na utilização da água, e tolerante a fatores abióticos (Dubeux Júnior et al., 2010; Jardim et al., 2021b). Essa cactácea apresenta em torno de 90% de umidade em seus cladódios, o que contribui para redução na demanda de água pelo animal, além disso, apresentam altos teores de carboidratos solúveis, minerais, vitaminas e alta digestibilidade (Bezerra et al., 2015; Jardim et al., 2020a).

No entanto, a palma apresenta baixo percentual de matéria seca e proteína bruta, elementos essenciais para a alimentação de ruminantes, que por sua vez podem sofrer com distúrbios gastrointestinais, resultando em baixo desenvolvimento (Cardoso et al., 2019).

Buscando-se equilíbrio nutricional e aumento na produção de forragem, recomenda-se a implantação do consórcio entre a palma e outras

culturas forrageiras (i.e., sorgo, milheto, girassol, e feijão-guandu), as quais são adaptadas às condições do semiárido brasileiro e que apresentem elevada produção de matéria seca e proteína (Hiolanda et al., 2018; Sousa et al., 2019; Jardim et al., 2020b).

Outra ferramenta que pode ser utilizada, é a intensificação de cultivos adensados e manejo de rotação de culturas, onde proporcionam aumento na reciclagem de nutrientes no solo, e maior aproveitamento das áreas agrícolas da região (Dominschek et al., 2021; Li et al., 2021). A fim de minimizar os efeitos sazonais na produção de forragem nos períodos mais secos do ano, a irrigação complementar se destaca como prática eficiente, proporcionando aumento e melhoria na produção de forragem (Brito et al., 2016; Queiroz et al., 2016; Araújo Júnior et al., 2021).

Com o intuito de potencializar o aproveitamento da água aplicada no sistema, a inserção de cobertura morta sobre o solo contribui para a redução das perdas de água pela evaporação, além de disponibilizar nutrientes com sua mediante decomposição para o solo, e com isso promovendo ecossistemas mais sustentáveis para a produção vegetal no semiárido brasileiro (Quintanilla-Tornel et al., 2016; Alves et al., 2018).

Nesta revisão, objetivou-se avaliar a utilização de diferentes práticas agrônômicas para aumentar a produtividade e sustentabilidades dos cultivos de palma forrageira e culturas de apelo regional para o semiárido brasileiro.

Semiárido brasileiro

As regiões áridas e semiáridas comportam aproximadamente 55% das terras no mundo, acomodando países da América Latina e Caribe, como Brasil, Chile, Argentina e México, com dimensão em torno de 313 milhões de hectares (Hussain et al., 2018).

O Brasil apresenta uma extensão territorial de 1,03 milhões de km² com a predominância do semiárido, onde o estado de Pernambuco inclui 87,6% das suas terras. A região semiárida do território brasileiro contempla 1.189 municípios de nove estados do país (e.g., Bahia, Ceará, Alagoas, Minas Gerais, Pernambuco, Paraíba, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) (Figura 1), sendo considerado o mais extenso e populoso de toda a América Latina, apresentando aproximadamente 22 milhões de habitantes (Santos e Farias, 2017; Medeiros et al., 2020; Silva et al., 2020).

Figura 1. Delimitação do semiárido brasileiro no ano de 2017. Fonte: SUDENE (2021).

O semiárido brasileiro tem predominância do bioma Caatinga, que é considerada ecologicamente rica e com várias espécies endêmicas. No entanto, apenas 1% deste bioma é protegido legalmente, o que pode acarretar em perdas constantes da sua biodiversidade ao longo dos anos. A sua vegetação é composta por plantas xerófilas, com características morfofisiológicas adquiridas ao longo do seu processo evolutivo, o que proporcionam adaptação e persistência a ambientes com déficit hídrico e térmico (Queiroz et al., 2020; Ferreira et al., 2020; Marques et al., 2020; Silveira e Mamede, 2021; Sabino et al., 2021).

Essa região tem como característica elevadas temperaturas e baixa umidade relativa do ar; baixos e irregulares índices de precipitação pluvial ($\leq 800 \text{ mm ano}^{-1}$), balanço hídrico negativo proveniente da alta demanda atmosférica; evapotranspiração potencial de 1.800 a 2.000 mm ano^{-1} ; água e solos com propensão a altos níveis de sais; solos quimicamente pobres, onde a maioria dos residentes desta região também sofre com a limitação ao acesso de tecnologias e água potável (Alvares et al., 2013; Cunha et al., 2013; Pereira et al., 2015; Marengo et al., 2016; Paredes-Trejo et al., 2017; Araújo et al., 2021; Silva et al., 2021a).

Embora as condições climáticas fragilizem o bioma Caatinga, estima-se que 34% das áreas sejam desmatadas para fins agrícolas, onde são

conduzidas principalmente por agricultores familiares, em áreas reduzidas sob condições de sequeiro. Durante a mudança das áreas naturais em sistemas agrícolas, os agricultores realizam queimadas para o preparo inicial do solo, acarretando em redução da serapilheira, e restringindo a matéria prima para o desenvolvimento dos microrganismos, fertilidade do solo e, em longo prazo, pode-se desencadear um processo de desertificação das áreas (Cesano et al., 2013; Medeiros et al., 2020; Queiroz et al., 2021).

Mudanças climáticas e suas influências no setor agropecuário

Atualmente, as mudanças climáticas têm provocado enormes adversidades ambientais e socioeconômicas. Essas mudanças podem acarretar riscos à saúde humana, alterações nos ecossistemas e distribuição dos recursos hídricos (Araújo, 2015; Dubeux Júnior et al., 2015; Carlos et al., 2019; Costa et al., 2021). Observa-se que as modificações do clima durante a segunda metade do século XX, tendem a provocar um acréscimo no aquecimento médio global de 0,6 °C, porém projeta-se que no ano de 2.100 este acréscimo seja de 2,6 a 4,8 °C, com esta elevação espera-se que ocorram reduções na produção agrícola e pecuária (Gomes et al., 2011; Ferreira et al., 2016).

Dentre os setores produtivos, a agricultura familiar é a mais afetada com as mudanças climáticas, devido à limitação de capital para investimentos em recursos que atenuem tais impactos e, conseqüentemente, estes produtores tenham menores retornos produtivos em suas propriedades (Cunha et al., 2013).

As alterações climáticas é capaz de influenciar diretamente a época de semeadura das culturas, preparação do solo para o plantio, montagem de sistemas de irrigação, ocasionar colheitas mais tardias, provocar mudanças interespecíficas entre culturas, e microrganismos benéficos ou maléficos presentes no solo, o que pode acarretar em baixa produtividade e altos custos com o controle de pragas, com isso onerando os custos de produção da propriedade (Radin e Matzenauer, 2016).

Culturas forrageiras de apelo regional

Palma forrageira

A palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) tem como origem o México, expandindo-se para todo continente americano em sistemas de cultivo e silvestre. Esta cactácea também difundiu-se pela Ásia, África, Europa e Oceania, adaptando-se a diferentes climas, sendo cultivada desde regiões áridas e semiáridas de todo o mundo (Cavalcante et al., 2014; Jardim et al., 2020a).

Essa cactácea pertence ao reino: Plantae; divisão: Embryophyta; subdivisão: Angiospermeae; classe: Dicotyledoneae; subclasse: Archiclamideae; ordem: Opuntiales; família: Cactaceae. Tal família apresenta 178 gêneros, contemplando em torno de 2.000 espécies conhecidas. Contudo, os dois gêneros de palma mais utilizados para a produção de forragem no semiárido brasileiro são a *Opuntia* e *Nopalea* (Galvão Júnior et al., 2014; Souza et al., 2019; Jardim et al., 2020a; Jardim et al., 2021c).

O potencial adaptativo destes gêneros de palma a ambientes áridos e semiáridos é possibilitado a partir das modificações morfofisiológicas e, principalmente, pelo seu metabolismo ácido das crassuláceas (MAC). Essa cactácea realiza assimilação de CO₂ normalmente durante a noite, com auxílio da fosfoenolpiruvato carboxilase, a partir da abertura dos seus estômatos (Figura 2) (Taiz et al., 2017; Jardim et al., 2021b).

Figura 2. Representação do metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) durante a noite e dia, da palma forrageira. Adaptado de Taiz et al. (2017).

Em tal metabolismo citado anteriormente, durante o período diurno, ocorre o fechamento estomático, impedindo a perda de água para atmosfera pela transpiração, conservando-se a turgidez celular e, com isso, condicionando seu desenvolvimento em ambientes de condições deficitárias de recursos hídricos e temperaturas elevadas (Garcia et al., 2014; Taiz et al., 2017). Com o fechamento dos estômatos, além de auxiliar na minimização da perda de água para atmosfera, também é capaz de acumular internamente grandes quantidades de CO₂, o que contribui substancialmente para a melhoria da atividade das enzimas, e eficiência das rotas metabólicas deste mecanismo fotossintético (Taiz et al., 2017).

Além dos processos bioquímicos, a palma apresenta em seus cladódios estruturas que minimizam a perda de água, como cutícula espessa e cerosa, vacúolos grandes, estômatos reduzidos e com aberturas limitadas, o que também promove proteção a inimigos naturais. Seu sistema radicular apresenta quatro tipos de raízes (e.g. raízes absorventes, estruturais, esporão e aréolas), onde são importantes para o melhor aproveitamento da água em solos com baixa umidade (Dubeux Júnior et al., 2010; Jardim et al., 2020a).

Estas peculiaridades morfofisiológicas da palma (Figura 3) possibilitam que a mesma tenha alta eficiência na utilização da água e nutrientes, sobrevivendo em locais com precipitação pluvial em torno de 150 mm ano⁻¹. As plantas com metabolismo MAC apresentam uma eficiência de 3 a 10 vezes maior que uma planta com metabolismo

C3 e C4 (Dubeux Júnior et al., 2010; Dubeux Júnior et al., 2015; Jardim et al., 2021b).

Figura 3. Representação morfológica da palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), cladódio de 1º ordem (NC1) e cladódio de 2º ordem (NC2). Arquivo pessoal.

Todavia, para que a palma forrageira tenha a capacidade de expressar seu potencial máximo de produção, a mesma deve ser cultivada em regiões onde as precipitações pluviométricas anuais estejam entre 368 mm a 812 mm, em locais onde o volume de chuva é inferior aos valores ideais, é de grande necessidade a utilização de irrigação complementar, para atender a demanda hídrica da cultura e potencializar a produção de forragem (Pereira et al., 2015; Jardim et al., 2019; Alves et al., 2019; Yan et al., 2020; Araújo Júnior et al., 2021).

No Brasil estima-se que as áreas cultivadas com palma contêm em torno de 600.000 hectares, onde, o Nordeste caracteriza-se como a região com maior extensão de terra cultivada com esta cactácea. Os principais clones cultivados são a Orelha de Elefante mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), e os clones Miúda e IPA-Sertânia, ambas *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck. Os três clones são resistentes a Cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*) (Cavalcante et al., 2014; Bezerra et al., 2015; Moreira et al., 2020).

No setor agropecuário, a palma forrageira apresenta vários benefícios para a alimentação animal, onde em seus cladódios contém grandes quantidades de água, aproximadamente 90% do seu peso in natura, contendo minerais, vitaminas, carboidratos não fibrosos, alta aceitabilidade e digestibilidade (Galvão Júnior et al., 2014; Pereira et al., 2015; Silva et al., 2021b).

As características bromatológicas desta cactácea favorece o desenvolvimento dos microrganismos ruminais e proporcionando maior síntese de proteína microbiana, além de alta capacidade de rebrota durante seus ciclos produtivos (Cardoso et al., 2019).

A palma forrageira, quando fornecida exclusivamente, pode promover problemas ruminas (i.e. timpanismo gasoso ou espumoso e acidose), além de diarreia e redução nos teores de gordura do leite (Aguilar et al., 2015).

Dessa forma, a implantação de um sistema consorciado pode ser uma alternativa, pois favorece o maior aproveitamento da área de cultivo, aumento da atividade microbiológica do solo e aumento da produção de forragem, uma vez que a palma apresenta um desenvolvimento lento, o que contribui no maior aporte forrageiro e dietas mais diversificadas e completas; que por sua vez, contribui para a diminuição ou inexistência de problemas metabólicos pelos animais, devido à disponibilidade de fibra e proteína em quantidades que vão atender a demanda nutricional dos animais (Cardoso et al., 2019; Jardim et al., 2021a).

A partir desse manejo, observa-se uma melhor colonização dos microrganismos ruminais, bem como a potencialização do seu funcionamento na absorção de nutrientes da dieta, maior ingestão de fibra e, conseqüentemente, uma melhor conversão alimentar, proporcionando maiores produções nos sistemas pecuários (Galvão Júnior et al., 2014; Aguilar et al., 2015; Cardoso et al., 2019).

Com base na importância nutricional, produtiva e socioeconômica da palma forrageira, diversos estudos são realizados com objetivos de otimização do seu sistema de cultivo (Diniz et al., 2017; Lima et al., 2018; Jardim et al., 2021a; Araújo Júnior et al., 2021). A fim de investigar alternativas no aumento da produção agrícola, Silva et al. (2015) trabalhando com três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana - OEM, IPA-Sertânia - IPA e Miúda - MIU) em sistema de cultivo em sequeiro durante 745 dias, constataram produtividade equivalentes a 163,0 124,3 e 117,5 Mg ha⁻¹ de matéria verde, e 15,6, 10,7 e 11,5 Mg ha⁻¹ de matéria seca, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Cultivo da palma em consórcio com o sorgo sob quatro lâminas de irrigação (Diniz et al., 2017), e três clones de palma cultivados em condição de sequeiro (Silva et al., 2015).

Diniz et al., 2017 (1 ano de cultivo)			
Sistemas	MF (Mg ha ⁻¹)	MS (Mg ha ⁻¹)	Densidade
Sorgo exclusivo	62,013	14,073	(170.000 plantas ha ⁻¹).
Sorgo consorciado	34,665	8,557	
Palma exclusiva	44,009	4,627	(15.625 plantas ha ⁻¹).
Palma consorciada	25,410	3,573	
Palma + sorgo	60,075	12,130	Somatório das plantas do sistema palma-sorgo (170.000 e 15.625 ha ⁻¹).
(Silva et al., 2015) 745 dias de cultivo			
Orelha de Elefante Mexicana (OEM)	163,0	15,6	Inicial (31.250 plantas ha ⁻¹). Final (28.000 plantas ha ⁻¹).
IPA-Sertânia (IPA)	124,3	10,7	Inicial (31.250 plantas ha ⁻¹). Final (29.875 plantas ha ⁻¹).
Miúda (MIU)	117,5	11,5	Inicial (32.500 plantas ha ⁻¹). Final (30.980 plantas ha ⁻¹).
CV (%)	6,22	19,37	-
(Araújo Júnior et al., 2021) 567 dias de cultivo			
OEM	312,0	31,0	50.000 plantas ha ⁻¹
MIU	191,0	19,0	
IPA	83,0	7,0	
CV (%)	29,0	29,0	

MF (Mg ha⁻¹) é o rendimento de massa fresca por hectare e MS (Mg ha⁻¹) é o rendimento de massa seca por hectare.

Sorgo forrageiro

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), pertence à família Poaceae, com origem de regiões tropicais. É uma cultura que apresenta

características xerófilas o que lhe configura tolerância à seca (Kirchner et al., 2019).

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.

O sorgo forrageiro (Figura 4) é uma cultura tropical extremamente sensível às baixas temperaturas do ar no período noturno, podendo desencadear aumento da taxa de respiração

noturna. Com isso, para o cultivo dessa gramínea, são recomendados ambientes que apresentem temperaturas entre 16 a 38 °C (Zegada-Lizarazu et al., 2013).

Figura 4. Representação morfológica do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Fonte: autores.

Temperaturas excedentes a essas podem acarretar em redução na produtividade e no desenvolvimento da cultura, principalmente na redução da área foliar, altura, acúmulo de matéria seca e atraso no período de floração (Morais et al., 2015; Diniz et al., 2017).

Esta gramínea destaca-se pela elevada produção de matéria fresca e seca, bom desenvolvimento radicular; tolerância a altas temperaturas, déficit hídrico e acidez do solo (Elias et al., 2016; Jardim et al., 2020c). Com isso, o sorgo pode ser cultivado em áreas em que o milho não apresente um bom desenvolvimento forrageiro, tornando os sistemas produtivos da região mais sustentáveis e ativos (Sousa et al., 2019).

Diante das características do sorgo, a mesma é considerada uma cultura bastante versátil,

ofertando-se a forragem in natura, feno, pastejo direto, silagem e grãos, estes constituintes destacam-se pela qualidade e digestibilidade (Sousa et al., 2019; Jardim et al., 2020c). Essa gramínea também apresenta alta capacidade de rebrota, o que possibilita mais ciclos produtivos e maior aporte de forragem para os rebanhos durante o longo período de estiagem (Elias et al., 2016).

Em pesquisa realizada por Perazzo et al. (2013) avaliando o rendimento de cinco cultivares de sorgo (BRS Ponta Negra, SF 15, IPA 1011, IPA 2502 e IPA 46742) em ambiente semiárido, obtiveram produtividade de: 52,14, 42,65, 43,54, 37,17, 41,38 Mg ha⁻¹, como também, 12,07, 10,88, 14,51, 11,80, 11,19 Mg ha⁻¹ de matéria fresca e seca, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Produtividade de cinco cultivares de sorgo no semiárido brasileiro.

Cultivares	MF Mg ha ⁻¹	MS Mg ha ⁻¹	TMS (%)
Ponta Negra	52,14	12,07	23,25
SF15	42,65	10,88	23,50

IPA 1011	43,54	14,51	33,34
IPA 2502	37,17	11,80	31,70
IPA 46742	41,38	11,19	27,04
CV (%)	21,05	21,79	2,51

Rendimento de massa fresca (MF) Mg ha⁻¹, massa seca (MS) Mg ha⁻¹ e teor de massa seca (TMS %) das cultivares de sorgo.

O desempenho produtivo do sorgo forrageiro também se atrela a sua tolerância moderada ao estresse salino, com isso, é capaz de produzir quantidades satisfatórias de forragem. Este desempenho é de suma importância, uma vez

que, possibilita o cultivo desta espécie em regiões semiáridas do Brasil, onde os próprios materiais de origem do solo, ou a água de poços artesianos utilizados para irrigação, favorece a salinização dos solos da região (Elias et al., 2016).

Girassol forrageiro

A cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma oleaginosa dicotiledônea originada da América do Norte, pertence à família Asteraceae

(Figura 5), que vem ganhando força no Brasil (Santos et al., 2011; Ebrahimian et al., 2019).

Figura 5. Morfologia do girassol (*Helianthus annuus* L.) (A), e partes estruturais da inflorescência na face frontal (B) e lateral (C). Fonte: autores.

As principais utilidades do girassol no país são: fornecimento de forragem para a produção animal, ornamentação, biocombustíveis e óleo comestível (Souza et al., 2015). O girassol apresenta um sistema radicular pivotante, profundo e bem desenvolvido, possibilitando a reciclagem de nutrientes, é tolerante ao déficit hídrico (exigência hídrica de 500 a 700 mm ano⁻¹), mas a

produtividade desta cultura é altamente dependente da água na floração e estágios de enchimento de sementes. Também apresenta ciclo curto de 90 a 130 dias, baixa infestação de pragas e doenças, resistente a temperaturas elevadas e frias, podendo ser cultivada em várias regiões com diferentes regimes climáticos, uma vez que a mesma recebe pouca influência da latitude, altitude e fotoperíodo

(Alves Filho et al., 2016; Pereira et al., 2017; Hiolanda et al., 2018; Souza et al., 2015).

A partir das características adaptativas desta oleaginosa, a mesma vem se tornando uma importante alternativa para suplementar os rebanhos do semiárido nordestino. Devido a sua composição bromatológica, é bastante incluída na formulação de dietas para pequenos e grandes ruminantes, podendo ser ofertada in natura, em forma de torta das sementes e silagem (Possatto Junior et al., 2013).

Ambas as formas de oferta ao animal, possibilita a ingestão de altos teores de gordura, energia e proteína, além de ser uma fonte de renda para os produtores, com a venda de óleo de suas sementes contém teor de 35 a 50% de óleo, que pode ser incluído na alimentação humana e animal (Verslype et al., 2015; Alves Filho et al., 2016; Ebrahimian et al., 2019).

A cultura do girassol quando bem manejada é capaz de produzir de 20 a 40 Mg ha⁻¹ de matéria verde, enquanto a produtividade de matérias seca fica em torno de 2 a 7 Mg ha⁻¹. A

silagem advinda do girassol, segundo Santos et al. (2011) é composta por 12% de proteína, superando o milho, que apresenta em torno de 6,5 a 8,0% de proteína.

Com isso, nota-se uma redução pela busca de alimentos concentrados proteicos, promovendo uma redução nos custos de produção da propriedade.

Feijão-guandu

O feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) pertencente da família Fabaceae, é uma leguminosa com ciclo anual ou semiperene de porte arbustivo (Araújo et al., 2019). Esta cultura é de suma importância para os países tropicais e subtropicais, sendo os principais situados no continente africano e asiático. O seu ciclo produtivo pode variar de 80 a 180 dias, para as variedades anãs (baixo porte de crescimento e estrutural) e convencionais (denominadas de porte normal), respectivamente (Pinheiro et al., 2013) (Figura 6).

Figura 6. Representação morfológica do feijão-guandu. Fonte: autores.

De acordo com Maior Júnior et al. (2009), em regiões tropicais e subtropicais, para que o feijão-guandu tenha um desenvolvimento aceitável, o mesmo deve estar em faixas de temperaturas variando de 18 a 29 °C, com tolerância máxima de 35 °C.

O feijão-guandu é muito utilizado como adubação verde, com o intuito de fornecer matéria orgânica e nitrogênio par o solo. Esta leguminosa apresenta sistema radicular profundo e ramificado, o que possibilita a restauração química dos solos degradados, a partir da fixação biológica de

nitrogênio e solubilização do fósforo ligado ao solo, além de permitir a sobrevivência da cultura em regiões com baixa disponibilidade hídrica (Verslype et al., 2015; Araújo et al., 2019; Sewsaran et al., 2019).

Diante das características desta espécie, o *C. cajan* é a quarta leguminosa mais importante do mundo, ficando atrás do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), ervilha (*Pisum sativum* L.) e grão de bico (*Cicer arietinum* L.), esse destaque atrela-se a capacidade de disponibilizar uma dieta com alta qualidade e teor de proteína para alimentação humana e, atualmente na alimentação animal (Pande et al., 2011; Buch et al., 2020).

A partir dos benefícios e caracteres do feijão-guandu, o mesmo é uma importante alternativa para a produção de forragem, com uma produtividade em torno de 20 a 40 toneladas de matéria verde durante seu ciclo em condições de

sequeiro. A forragem proveniente desta leguminosa, é composta por alto valor nutritivo, com isso, disponibilizando um alimento com excelente fonte de energia e proteína para os ruminantes da região semiárida (Choudhary et al., 2013; Khoury et al., 2015).

Milheto forrageiro

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é uma gramínea anual de origem africana (Figura 7), e chegou ao Brasil por volta da década de 70. Essa espécie é altamente eficiente na utilização da água, com uma exigência hídrica de até 70% menor para produzir a mesma quantidade de matéria seca quando comparado com o milho (Foloni et al., 2016; Silva et al., 2020a).

Figura 7. Representação morfológica do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) em campo. Fonte: autores

O milheto pode ser cultivado em diversas regiões do semiárido, onde o período chuvoso disponibiliza de 400 a 600 mm, podem o mesmo pode ser cultivado em localidades com precipitações de 150 a 200 mm anuais (Almeida et al., 2018; Bhattarai et al., 2020). As principais características desta espécie em sistemas de cultivos são: adaptação à baixa fertilidade dos solos, temperaturas elevadas, tolerância ao déficit hídrico, elevada rusticidade, crescimento rápido, capacidade de rebrota, raízes bem vigorosas, alta capacidade de absorção de nutrientes, e ciclo curto de 150 a 160 dias (Simão et al., 2015; Silva et al.,

2020b). Além disso, sua implantação é de baixo custo, sendo bastante utilizado em sistemas de plantio direto, para produção de biocombustíveis e forragem para os animais (Almeida et al., 2018).

Para o rendimento de matéria seca (MS), as produtividades médias são em torno de 7 a 10 Mg ha⁻¹. No entanto, a depender da cultivar utilizada, condição climática, e disponibilidade de nutrientes do solo, a mesma pode alcançar um rendimento de 20 Mg ha⁻¹ de MS (Rocha et al., 2017).

Embora o milheto apresente elevadas produtividades, sua utilização na silagem está diretamente atrelada as cultivares e momento de

corte, o que influencia diretamente na qualidade final do produto. Quando colhido de forma muito tardia, os níveis de carboidratos solúveis tendem a reduzir e a fibra aumentar, ocasionando redução na sua digestibilidade. Além disso, a relação caule/folha aumenta, resultando em silagens de baixa qualidade, acarretando em baixo rendimento dos animais (Foloni et al., 2016).

O milho pode ser fornecimento ao animal, in natura, pastejo direto, silagem, feno e Também seus grãos. Os seus grãos são muito utilizados como matéria prima na formulação de dietas para os animais de produção, com excelente qualidade e baixo custo (Rocha et al., 2017).

Essa gramínea tem apresentando um bom desempenho produtivo em diferentes regiões, e com isso vem sendo bastante difundida e utilizada

no semiárido brasileiro, podendo alcançar produtividades de 70 toneladas de matéria verde (MV), em condições favoráveis de umidade e fotoperíodo durante todo o seu ciclo (Melo et al., 2015).

Prática de consórcio entre culturas agrícolas

O consórcio entre culturas agrícolas considera-se uma prática agroecológica, a mesma é muito utilizada em áreas pertencentes a pequenos agricultores, onde consiste na implantação de duas ou mais espécies vegetais na mesma área de cultivo simultaneamente (Figura 8) (Souza et al., 2013; Yin et al., 2020; Jardim et al., 2021a).

Figura 8. Exemplos de consórcios entre palma+sorgo (A), palma+milheto (B), palma+girassol forrageiro (C), palma+feijão-guandu (D), no semiárido brasileiro. Fonte: autores.

Por meio desta prática na maioria das combinações de plantas forrageiras ou agrícolas, permitem maiores retornos produtivos, resultante de uma maior eficiência na utilização dos recursos naturais (i.e., água, luz, e nutrientes) quando comparado ao cultivo isolado das espécies (Jiao et al., 2021; Jardim et al., 2021a).

A consorciação é capaz de contribuir no controle biológico de pragas e doenças, devido a maior diversidade de espécies na área, promove diminuição da incidência de erosão nas áreas, maior cobertura do solo e menor perda de água por meio da evaporação, diminuição da infestação de plantas daninhas, diversificação de microrganismos no solo, otimização da mão de

obra, estabilidade alimentar para os rebanhos, diversidade de alimentos e fontes de renda para as famílias (Rodrigues et al., 2014; Jananmard et al., 2020).

No entanto, quando as culturas estão submetidas ao consórcio há ocorrência de competição e facilitação interespecífica. A competição consiste na interferência do desenvolvimento de uma das culturas, onde uma delas pode produzir principalmente elementos alelopáticos e limitar o acesso de recursos para a outra. Já a facilitação entre as espécies pode contribuir para o maior desenvolvimento da microbiota do solo devido à diversidade vegetal, e com isso, as espécies se beneficiam (Jardim et al., 2021a; Jiao et al., 2021).

Em um consórcio de milho com amendoim, Jiao et al. (2021) relatam que há vantagem nesta configuração de cultivo, observando-se o aumento de nutrientes (ferro e nitrogênio) no solo, resultante de uma maior diversidade microbiológica nos sistemas, e favorecendo a reciclagem e fixação biológica de nitrogênio pelo amendoim.

Todavia, para a obtenção de altos rendimentos nos sistemas consorciados, devem-se considerar alguns conceitos básicos, como: a escolha de espécies que se complementam, o arranjo do cultivo, espaçamento e densidade populacional também são de suma importância, para que a cultura persista no sistema produtivo e alcance seu potencial produtivo (Oliveira Filho et al., 2016).

Aplicação de irrigação complementar em sistemas de cultivos em ambiente semiárido

O mundo passa por uma enorme escassez hídrica, principalmente água de boa qualidade. Dentre as regiões mais afetadas, destacam-se as áridas e semiáridas, ocasionando conflitos sociais e econômicos por este recurso (Mbarki et al., 2018; Santos et al., 2020). No entanto, alguns fatores são preponderantes para o agravamento da falta de água, como o aumento da temperatura e baixa umidade relativa do ar, altas taxas evapotranspirativas e irregularidade das chuvas, ocasionadas principalmente, pelas mudanças climáticas a partir do aumento da emissão de gases do efeito estufa, assim como do avanço acelerado da população, que resulta em maior demanda por alimentos (Wang et al., 2020; Yang et al., 2020; Jardim et al., 2021d).

Buscando-se melhorar o aproveitamento da água e minimizar os efeitos da variabilidade da

precipitação pluvial no semiárido brasileiro, recomenda-se a irrigação complementar, que busca aperfeiçoar a utilização da água nos sistemas agrícolas e garantir a segurabilidade da produção agropecuária, uma vez que o regime hídrico local é superado pela alta demanda atmosférica, ocasionando déficit hídrico para as forragens (Sarker et al., 2020).

A irrigação complementar pode suprir a demanda hídrica das culturas e reduzir os efeitos do estresse hídrico, possibilitando aumento na produtividade agrícola ao longo do ano, principalmente no semiárido brasileiro, onde os principais sistemas agrícolas são conduzidos de forma de sequeiro, condicionando sua produção ao regime pluviométrico irregular (Brito et al., 2016; Queiroz et al., 2016).

No entanto, os reservatórios e poços subterrâneos apresentam água de baixa qualidade, onde grande maioria contem altos teores de sais, o que pode ocasionar limitações nos cultivos, caso não sejam bem manejados (Yan et al., 2020; Yavuz et al., 2020). Todavia, a utilização de água de baixa qualidade para a irrigação é uma tendência para a agricultura atual e futura. Devido a isso, manejar conscientemente este recurso buscando-se evitar a ocorrência de alta deposição e acúmulos de sais para não salinizar os solos agrícolas, uma vez que pode ser agravado por condições predominantes na região como precipitação irregular, elevada evapotranspiração e balanço hídrico negativo, o que dificulta a lixiviação destes sais para as camadas mais subsuperficiais (Yan et al., 2020). A salinização pode desencadear efeitos negativos nos processos químicos, físicos e biológicos do solo e, com isso, afetar o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (Mbarki et al., 2018).

Sabendo-se que a irrigação é uma excelente alternativa para as regiões com escassez hídrica, muito se discute qual o melhor sistema de irrigação deve ser adotado. As técnicas tradicionais de irrigação (aspersão e por sulcos) são caracterizadas por baixa eficiência de aplicação, fornecendo apenas 30% da água aplicadas para as culturas (Mostafa et al., 2018).

Todavia, a irrigação complementar por meio do gotejamento (Figura 9) é de grande eficiência e pode economizar até 65% de água, em relação aos demais sistemas. Também se observa uma maior uniformidade de aplicação, menor perda de água por evaporação, redução do escoamento superficial e aumento da infiltração; proporcionando maior disponibilidade de água na zona radicular da cultura, e menores custos com energia elétrica (Yan et al., 2020).

Figura 9. Consórcio palma+sorgo sob sistema de irrigação por gotejamento, no semiárido brasileiro. Fonte: autores.

Cobertura morta em sistemas agrícolas do Semiárido

A cobertura morta visa minimizar as perdas de água do sistema para a atmosfera, com a inserção de materiais orgânicos (palhadas, resíduos vegetais, etc.) ou inorgânico (plástico) sobre o solo, buscando-se aumentar o rendimento das culturas agrícolas (Quintanilla-Tornel et al., 2016; Alves et al., 2018).

A cobertura orgânica sobre o solo tem capacidade de modificar as estruturas físicas, químicas e biológicas do agroecossistema da área cultivada (Figura 10), dentre elas: diminuir a incidência da radiação direta sobre o solo, reduzindo a temperatura do mesmo; aumentar a retenção de água; reduzir a erosão e melhorar a fertilidade do solo através de sua decomposição, aumentando a relação C/N (Alves et al., 2018; Zhang et al., 2021).

Figura 10. Efeitos da cobertura morta na interação sistema solo-planta-atmosfera e seus benefícios. Fonte: Alves et al. (2018).

Também é capaz de diminuir a infestação de parasitas maléficos, assim como aumentar a diversidade de microrganismos benéficos, o que possibilita uma maior reciclagem de nutrientes no solo, favorecendo um maior aproveitamento pela planta e, consequentemente, potencializar os rendimentos (Aquino et al., 2015; Mendonça et al., 2019; Bamber et al., 2020).

Rotação de culturas

A rotação de culturas define-se pela recorrente sucessão de plantas ao longo do tempo em uma mesma área de cultivo, sendo amplamente utilizada em várias partes do mundo (Hegewald et al., 2018). A sua adoção promove benefícios agrônômicos tais como, a melhoria da fertilidade e conservação das estruturas do solo, aumento da disponibilidade e eficiência na utilização da água, redução de plantas invasoras, pragas e doenças (Salassi et al., 2013). O que contribui para o maior desenvolvimento e produtividade das culturas, consequentemente maior lucratividade para o produtor (Zhao et al., 2020).

A partir de um estudo realizado no centro-oeste dos Estados Unidos, Chamberlain et al. (2020) comparando a rotação do milho e soja, em relação ao cultivo contínuo de apenas uma espécie, foi possível observar um aumento de 8 a 20% da soja rotacionada com o milho em relação à soja contínua. Já para o milho rotacionado o aumento

foi de 5 a 30% quando comparado ao milho contínuo (Chamberlain et al., 2020).

O aumento da capacidade produtiva das culturas em sistemas agrícolas rotacionados é diretamente influenciado pela microbiota do solo, estes microrganismos benéficos são capazes de reduzir o número de microrganismos maléficos e, com isso contribuem para uma menor infestação de doenças nas culturas (Chamberlain et al., 2020).

Esta microbiota capaz de disponibilizar nutrientes para as plantas, por meio da decomposição de compostos orgânicos e de relações simbióticas com algumas culturas, o que favorece no crescimento e melhoria na performance das culturas (Hegewald et al., 2018; Jardim et al., 2018).

Conclusões

Nesta revisão de literatura, abordamos que a intensificação sustentável dos cultivos agrícolas, por meio da irrigação complementar, cobertura morta, consórcio entre palma forrageira e espécies vegetais adaptadas ao semiárido brasileiro, podem promover aumento na produção de forragem sem efeitos adversos aos ecossistemas. As práticas sustentáveis no setor agrícola, é uma alternativa promissoras que vêm ganhando destaque nos setores produtivos de diversas regiões do mundo e em diferentes condições climáticas.

Além disso, os impactos causados ao ambiente com esses sistemas de cultivo e práticas

agronômicas reportados na literatura indicam benefícios ecológicos e produtivos. Desta forma, pesquisa futuras e uma compreensão integrada mais detalhada são encorajadas com essas culturas forrageiras, visando melhorias também para o setor econômico de países subdesenvolvidos; e implantação desse tipo de agricultura moderna integrativa nas propriedades rurais.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Código de Financiamento 001), Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE - APQ-0215-5.01/10 e FACEPE - APQ-1159-1.07/14), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - 475279/2010-7, 476372/2012-7, 305286/2015-3, 309421/2018-7, e 152251/2018-9) pelo apoio financeiro e concessão das bolsas dos autores.

Referências

- Aguiar, M.S.M.A., Silva, F.F., Donato, S.L.R., Rodrigues, E.S.O., Costa, L.T., Mateus, R.G., Souza, D.R., da Silva, V.L., 2015. Palma forrageira em dietas de novilhas leiteiras confinadas: Desempenho e viabilidade econômica. *Semina: Ciências Agrárias*, 36, 1013–1030. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p1013>
- Almeida, M.C.R., Leite, M.L.M.V., Júnior, E.H.S., Cruz, M.G.da, Moura, G.A.de, Moura, E.A.de, Sá, G.A. S., Lucena, L.R.R., 2018. Crescimento vegetativo de cultivares de milho sob diferentes disponibilidades hídricas. *Magistra*, 29, 161–171.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711–728b. <http://10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alves Filho, D.C., Barcellos, J.O.J., Zago, D., Sartori, E.D., Antunes, K.K., Andrade, N.T., 2016. Características da carcaça de novilhos terminados em confinamento com inclusão parcial na dieta de silagem de girassol. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24, 139–148.
- 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, 207-220. <https://doi.org/10.26545/ajpr.2018.b00026x>
- Alves, C.P., Silva, T.G.F., Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M.R.F., Souza, L.S.B., Cruz Neto, J. F., & Souza Santos, J.P.A., 2019. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros*, 27, 347-356. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>
- Andrade, A.J.P., Souza, C.R., Silva, N.M., 2013. A vulnerabilidade e a resiliência da agricultura familiar em regiões semiáridas: o caso do seridó potiguar. *Revista de Geografia Agrária*, 8, 1–30.
- Aquino, G.S., Medina, C.C., Junior, A.L.P., Santos, L.O., Cunha, A.C.B., Kussaba, D.A.O., Júnior, J. H.S., Almeida, L.F., Santiago, A.D., 2015. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50, 1150–1159. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200004>
- Araújo, H.L., Montenegro, A.A.A., Lopes, I., Carvalho, A.A., Silva, E.C., Gonçalves, G.E., 2020. Espacialização da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3, 341–405.
- Araújo Júnior, G.N., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Souza, M.S., Araújo, G.G.L., Moura, M.S.B., Santos, J.P.A.S., Jardim, A.M.R.F., Alves, C.P., Alves, H.K.M.N., 2021. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. *Bragantia* 80, e1221. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>
- Araújo, B.A., Moreira, F.J.C., Guedes, F.L., 2019. Emergência e crescimento inicial de feijão guandu em função dos substratos e salinidade da água de irrigação. *Revista Agrária Acadêmica*, 2, 90–101.
- Araújo, G.G.L., 2015. Os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e a produção animal em regiões semiáridas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 08, 598–609. <https://doi.org/10.32406/v2n42019/90-101/agrariacad>
- Bamber, N., Jones, M., Nelson, L., Hannam, K., Nichol, C., Pelletier, N., 2020. Life cycle assessment of mulch use on Okanagan apple orchards: Part 1 - Attributional. *Journal of Cleaner Production*, 267, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121960>
- Bezerra, S.A.F., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Moura, M.S.B., Moraes, J.E.F., Diniz, W.J.S.,

- Queiroz, M.G., 2015. Demanda hídrica bruta da Palma Forrageira em cenários futuros de mudanças climáticas no Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 1628–1643. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150092>
- Bhattarai, B., Singh, S., West, C.P., Ritchie, G.L., Trostle, C.L., 2020. Water Depletion Pattern and Water Use Efficiency of Forage Sorghum, Pearl millet, and Corn Under Water Limiting Condition. *Agric. Water Manag.* 238, 106206. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106206.
- Biesdorf, E.M., Jardim, A.M.R.F., Biesdorf, E.M., Barros, A.F., Araújo, C., Pimentel, L.D., 2019. Can the Nitrogen and Silicon Increase the Productivity and Yield in Rice Crops in the Rainfed Environment?. *Journal of Agricultural Science*, 11, 117–130. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n18p117>
- Brito, C.F.B., Fonseca, V.A., Santos, M.R. 2016. Desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento com aplicação da água salina. *Revista Agrotecnologia*, 7, 10–17. <https://doi.org/10.12971/5011>
- Buch, D.U., Sharma, O.A., Pable, A.A., Barvkar, V.T., 2020. Characterization of microRNA genes from Pigeonpea (*Cajanus cajan* L.) and understanding their involvement in drought stress. *Journal of Biotechnology*, 321, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.06.019>
- 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 diet of lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 247, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.016>
- Carlos, S.M., Cunha, D.A., Pires, M.V., 2019. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 57, 455–471. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.187600>
- Cavalcante, L.A.D., Santos, G.R.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.
- Cesano, D., Burney, J., Russell, J.M., Rovere, E.L.L., Obermaier, M., Corral, T., Coelho, N.S., Silva, L.S., Neves, C.G., 2013. Mudanças climáticas no semiárido da Bahia e estratégias de adaptação da coalizão adapta sertão para a agricultura familiar. *Inclusão Social*, 6, 88–104.
- Chamberlain, L.A., Bolton, M.L., Cox, M.S., Suen, G., Conley, S.P., Ané, J.M., 2020. Crop rotation, but not cover crops, influenced soil bacterial community composition in a corn-soybean system in southern Wisconsin. *Applied Soil Ecology*, 154, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103603>
- Choudhary, A.K., Kumar, S., Patil, B.S., Bhat, J.S., Sharma, M., Kemal, S., Ontagodi, T.P., Datta, S., Patil, P., Chaturvedi, S.K., Sultana, R., Hegde, V.S., Choudhary, S., Kamannavar, P.Y., Vijayakumar, A.G., 2013. Narrowing yield gaps through genetic improvement for Fusarium wilt resistance in three pulse crops of the semi-arid tropics. *Sabara Journal of Breeding and Genetics*, 45, 341–370.
- 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., 2021. Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño–Southern Oscillation. *International Journal of Climatology* 41, E2111–E2135. <https://doi.org/10.1002/joc.6835>
- Cunha, D.A., Coelho, A.B., Féres, J.G., Braga, M.J., Souza, E.C., 2013. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: Aspectos econômicos. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 51, 369–386. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000200009>
- 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. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, 724–733. <https://doi.org/10.1590/S0100-04X2017000900004>
- Dominschek, R., Barroso, A.A.M., Lang, C.R., Moraes, A., Sulc, R.M., Schuster, M.Z., 2021. Crop rotations with temporary grassland shifts weed patterns and allows herbicide-free management without crop yield loss. *Journal of Cleaner Production*, 306, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127140>
- Dubeux Júnior, J.C.B., Filho, J. T.A., Santos, M.V.F., Lira, M.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.

- Dubeux Júnior, J.C.B., Santos, M.V.F., Melo, 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*, 58, 181–186. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1067.24>
- Ebrahimian, E., Seyyedi, S.M., Bybordi, A., Damalas, C.A. 2019. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management*, 218, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.031>
- Elias, O.F.A.e.S., Leite, M.L.M.V., Azevedo, J.M., Silva, J.P.S.S., Nascimento, G.F.do., Simplício, J.B., 2016. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no Semiárido de Pernambuco. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 14, 29–36. <https://doi.org/10.28998/rca.v14i1.2318>
- Ferreira, P.D.S., Gomes, V.P., Santos, A.M., Souza, W.M., Galvêncio, J.D., 2016. Mudanças climáticas e a Geopotencialidade à fruticultura em municípios de Pernambuco: subsídios à agricultura familiar. *Caderno de Geografia*, 26, 522–544. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26n.46p.522>
- Ferreira, T.R., Silva, B.B.D., Moura, M. S. B. De., Verhoef, A., Nóbrega, R.L.B., 2020. The use of remote sensing for reliable estimation of net radiation and its components: a case study for contrasting land covers in an agricultural hotspot of the Brazilian semiarid region. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108052>
- Foloni, J.S.S., Catuchi, T.A., Barbosa, A.D.M., Calonego, J.C., Tiritan, C.S., 2016. Acúmulo de nutrientes e relação C/N em diferentes estádios fenológicos do milho submetido à adubação nitrogenada. *Revista Agro@Mambiente on-Line*, 10, 1–9. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i1.2798>
- Foster, J.L., Muir, J.P., Bow, J.R., Valencia, E. 2017. Biomass and nitrogen content of fifteen annual warm-season legumes grown in a semi-arid environment. *Biomass and Bioenergy*, 106, 38–42. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.08.016>
- Galvão Júnior, J.G.B., Silva, J.B.A., Moraes, J.H.G., Lima, R.N., 2014. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: Cultivo e utilização. *Acta Veterinaria Brasilica*, 8, 78–85.
- Garcia, T.M., Heyduk, K., Kuzmick, E., Mayer, J.A., 2014. Crassulacean acid metabolism biology. *New Phytologist*, 204, 738–740.
- Gomes, R.C.C., Yanagi, T., Lima, R. R., Yanagi, S.N.M., de Carvalho, V.F., Damasceno, F.A., (2011). Predição do índice de temperatura do globo negro e umidade e do impacto das variações climáticas em galpões avícolas climatizados. *Ciencia Rural*, 41, 1645–1651.
- Hegewald, H., Wensch-Dorendorf, M., Sieling, K., Christen, O., 2018. Impacts of break crops and crop rotations on oilseed rape productivity: A review. *European Journal of Agronomy*, 101, 63–77. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.08.003>
- Hiolanda, R., Dalchiavon, F.C., Biezu, E., Iocca, A.F.S., Carvalho, C.G.P., 2018. Contributo para o estudo do desempenho agrônomo de híbridos na principal região produtora de girassol no Brasil (Chapadão do Parecis). *Revista de Ciências Agrárias*, 41, 14–22. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17159>
- 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 Environmental Research*, 12, 117–126. <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0074-2>
- 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, 357–365. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26446>
- 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.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, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.01>

- 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., 2021c. Intercropping forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus. *African Journal of Range and Forage Science*, 38:1-12. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.1949749>
- 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., 2021d. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 105733. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105733>
- 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., 2020c. Production potential of Sorghum bicolor (L.) Moench crop in the Brazilian semiarid: review. *PUBVET* 14, 1-13. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n4a550.1-13>
- Jardim, A.M.R.F., Silva, J.R.I., Leite, M.L.M.V., Teixeira, V.I., Morato, R.P., Araújo Júnior, G.N., Silva, T.G.F., 2018. Symbiotic interaction in forage crop cultivations: A review. *Amazonian Journal of Plant Research* 2, 149-160. <https://doi.org/10.26545/ajpr.2018.b00019x>
- 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, 069-087.
- Jardim, A.M.R.F., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Souza, M.S., Morais, J.E.F., Araújo Júnior, G.N., 2020b. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 24, 756-761. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2743.069-087>
- Javanmard, A., Machiani, M.A., Lithourgidis, A., Morshedloo, M.R., Ostadi, A., 2020. Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. *Cleaner Engineering and Technology*, 1, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100003>
- Jiao, N., Wang, J., Ma, C., Zhang, C., Guo, D., Zhang, F., Jensen, E.S., 2021. The importance of aboveground and belowground interspecific interactions in determining crop growth and advantages of peanut/maize intercropping. *The Crop Journal*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.12.004>
- Khoury, C.K., Castañeda-Alvarez, N.P., Achicanoy, H.A., Sosa, C.C., Bernau, V., Kassa, M.T., Norton, S.L., Maesen, L. J. G.V.D., Upadhyaya, H.D., Ramírez-Villegas, J., Jarvis, A., Struik, P.C., 2015. Crop wild relatives of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]: Distributions, ex situ conservation status, and potential genetic resources for abiotic stress tolerance. *Biological Conservation*, 184, 259-270. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.032>
- Kirchner, J.H., Robaina, A.D., Peiter, M.X., Torres, R.R., Mezzomo, W., Ben, L.H.B., Pimenta, B.D., Pereira, A.C., 2019. Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14, 1-9. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5646>
- Lima, L.R., Silva, T.G.F., Jardim, A.M.R.F., Souza, C.A.A., Queiroz, M.G., Tabosa, J.N., 2018. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 22, 113-118. <http://dx.doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v22n2p113-118>
- Li, M., Guo, J., Ren, T., Luo, G., Shen, Q., Lu, J., Guo, S., Ling, N., 2021. Crop rotation history constrains soil biodiversity and multifunctionality relationships. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 319, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107550>
- Maiores Júnior, S.G.S., Souto, J.S., Santos, R.V., Souto, P.C., 2009. Produção de fitomassa do feijão guandu em diferentes arranjos populacionais. *Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária*, 3, 1-5.
- Marengo, J.A., Cunha, A.P., Alves, L.M., 2016. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. *Revista Climanalise*, 49-54.
- Marques, T.V., Mendes, K., Mutti, P., Medeiros, S., Silva, L., Perez-Marin, A.M., Campos, S., Lúcio, P.S., Lima, K., Reis, J., Ramos, T.M., Silva, D.F., Oliveira, C.P., Costa, G.B., Antonino, A.C.D., Menezes, R.S.C., Santos e Silva, C. M., Bezerra, B., 2020. Environmental

- and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 1–15.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107957>
- Mbarki, S., Cerdà, A., Zivcak, M., Brestic, M., Rabhi, M., Mezni, M., Jedidi, N., Abdelly, C., Pascual, J.A., 2018. Alfalfa crops amended with MSW compost can compensate the effect of salty water irrigation depending on the soil texture. *Process Safety and Environmental Protection*, 115, 8–16.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2017.09.001>
- Medeiros, A.S., Maia, S.M.F., Santos, T.C., Gomes, T.C.A., 2020. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 287, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106690>
- Melo, N.C., Fernandes, A.R., Galvão, J.R., 2015. Crescimento e eficiência nutricional do nitrogênio em cultivares de milheto forrageiro na amazônia. *Revista Caatinga*, 28, 68–78.
<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n308rc>
- Mendonça, T.G., Berça, A.S., Souza, C.F., 2019. Tomateiro cultivado com cobertura morta em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 13, 3236–3246.
<https://doi.org/10.7127/rbai.v13n1001008>
- Minuzzi, R.B., Ribeiro, A.J., Silva, D.O., Kuneski, A.C., 2014. Estimativa da evapotranspiração de referência diária por Penman-Monteith FAO com dados de temperatura do ar para Santa Catarina. *Irriga*, 19, 548–558. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Morais, J.E.F., Silva, T.G.F., Barbosa, M.L., Diniz, W.J.S., Souza, C.A.A., Jardim, A.M.R.F., Ferreira, J.M.S., 2015. Impactos das mudanças climáticas na demanda hídrica e duração do ciclo do sorgo forrageiro e feijão caupi no estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 542–559.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p542-559>
- Moreira, J.M., Pérez-Marin, A.M., Araújo, J.S., Lambais, G.R., Sales, A.T. 2020. Nutrients demand of cactus forage. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(2), 811–820.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p811-820>
- Mostafa, H., El-Nady, R., Awad, M., El-Ansary, M., 2018. Drip irrigation management for wheat under clay soil in arid conditions. *Ecological Engineering*, 121, 35–43.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.09.003>
- Mouratiadou, I., Latka, C., van der Hilst, F., Müller, C., Berges, R., Bodirsky, B.L., Ewert, F., Faye, B., Heckeley, T., Hoffmann, M., Lehtonen, H., Lorite, I.J., Nendel, C., Palosuo, T., Rodríguez, A., Rötter, R.P., Ruiz-Ramos, M., Stella, T., Webber, H., Wicke, B., 2021. Quantifying sustainable intensification of agriculture: The contribution of metrics and modelling. *Ecological Indicators*, 129, 107870.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107870>
- Oliveira Filho, A.F., Bezerra, F.T.C., Pitombeira, J.B., Dutra, A.S., Barros, G.L., 2016. Eficiência agrônômica e biológica nos consórcios da mamoneira com feijão-caupi ou milho. *Revista Ciência Agrônômica*, 47, 729736.
<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160087>
- Palosuo, T., Hoffmann, M.P., Rötter, R.P., Lehtonen, H.S., 2021. Sustainable intensification of crop production under alternative future changes in climate and technology: The case of the North Savo region. *Agricultural Systems*, 190, 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103135>
- Pande, S., Sharma, M., Naga Mangla, U., Ghosh, R., Sundaresan, G., 2011. Phytophthora blight of Pigeonpea [Cajanus cajan (L.) Millsp.]: An updating review of biology, pathogenicity and disease management. *Crop Protection*, 30, 951–957.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.03.031>
- Paredes-Trejo, F.J., Barbosa, H.A., Lakshmi Kumar, T.V., 2017. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. In *Journal of Arid Environments*, 139, 26–40.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>
- Perazzo, A.F., Santos, E.M., Aquino, M.M., Silva, T.C., Ramos, J.P.F., Campos, F.S., Pinho, R.M.A., Bezerra, H.F.C., 2013. Características agrônômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. *Ciência Rural*, 43, 1771–1776. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013001000007>
- Pereira, P.C., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Moraes, J.E.F., Santos, D.C., 2015. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Revista Caatinga*, 28, 184–195.
<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>
- Pereira, P.C., Jardim, A.M.R.F., Lima, L.R., Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., & Moraes, J.E.F., 2017. Evapotranspiração do girassol pelo método do tanque classe “A” na região do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de*

- Agricultura Irrigada, 11, 1894-1903. 10.7127/rbai.v11n600649
- Pinheiro, G.G., Zanotti, R.F., Paiva, C.E.C., Lopes, J.C., Gai, Z.T., 2013. Efeito do estresse salino em sementes e plântulas de feijão guandu. *Enciclopédia Biosfera*, 9, 901–912.
- Possatto Junior, O., Neumann, M., Rossi, E.S., Hunger, H., Faria, M.V., 2013. Genetic characters of sunflower (*Helianthus annuus* L.) aiming the improvement for whole plant silage. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, 6, 113–119. <http://doi.org/10.5935/paet.v6.n2.13>
- 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 Anthropic Disturbance and Its Correlation With Rainfall Partitioning. *Floresta e Ambiente*, 28, 1-10. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2019-0044>
- 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., 2020. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. *Catena* 188, 104457. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104457>
- Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S.e., Souza, C.A.A., Carvalho, H.F.S., 2016. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em Ambiente Semiárido. *Irriga*, 141–154. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>
- Quintanilla-Tornel, M.A., Wang, K.H., Tavares, J., Hooks, C.R.R., 2016. Effects of mulching on above and below ground pests and beneficials in a green onion agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 224, 75–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.023>
- Radin, B., Matzenauer, R., 2016. Uso das informações meteorológicas na agricultura do Rio Grande do Sul. *Agrometeoros*, 24, 41–54. <https://doi.org/10.31062/agrom.v24i1.24880>
- Rocha, J.M.L., Santos, A.C., Junior, O.S., Silva, R.R., Santos, J.G.D., Oliveira, L.B.T., 2017. Características agrônômicas do milheto sob efeito de nitrogênio nos sistemas consorciado e monocultivo. *Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária*, 11, 37–43.
- Rodrigues, C.F., Bezerra, A.R., Pitombeira, J.B., Carvalho, C.M., Silva, L.L., Feitosa, S.O., 2014. Sistema de consórcio do girassol, feijão de corda e amendoim em séries de substituição. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 8, 256–269. <https://doi.org/10.7127/rbai.v8n300207>
- Sabino, F.C., Souza, L.S.B., Souza, M.A.G., Barros, J.P.A., Lucena, L.R.R., Jardim, A.M.R.F., ... & Silva, T.G.F., 2021. Morphological characteristics, biomass accumulation and gas exchange of an important species native for restoration in Semiarid Brazilian areas affected by salt and water stress. *Plant Stress*, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100021>
- Salassi, M.E., Deliberto, M.A., Guidry, K.M., 2013. Economically optimal crop sequences using risk-adjusted network flows: Modeling cotton crop rotations in the southeastern United States. *Agricultural Systems*, 118, 33–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2013.02.006>
- Santos, A.R., sales, E.C.J., Rocha Júnior, V.R., Pires, A.J.V., Reis, S.T., Rodrigues, P.S., 2011. Desempenho de genótipos de girassol sob irrigação nas condições do semiárido. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 12, 594–606.
- Santos, A., Lopes, P.M.O., Silva, M.V., Jardim, A.M.R.F., Moura, G.B.A., Fernandes, G.S.T., ... & de Oliveira-Júnior, J.F., 2020. Causes and consequences of seasonal changes in the water flow of the São Francisco river in the semiarid of Brazil. *Environmental and Sustainability Indicators*, 8, 100084. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100084>
- Santos, S.M., Farias, M.M.M.W.E.C., 2017. Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1007–1015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.251>
- Sarker, K.K., Hossain, A., Timsina, J., Biswas, S.K., Malone, S.L., Alam, M.K., Loesch, H.W., Bazzaz, M., 2020. Alternate furrow irrigation can maintain grain yield and nutrient content, and increase crop water productivity in dry season maize in sub-tropical climate of South Asia. *Agricultural Water Management*, 238, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106229>
- Scherer, L.A., Verburg, P.H., Schulp, C.J.E., 2018. Opportunities for sustainable intensification in European agriculture. *Global Environmental Change*, 48, 43–55. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.009>
- Schut, M., Asten, P.V., Okafor, C., Hicintuka, C., Mapatano, S., Nabahungu, L.N., Kagabo, D., Muchunguzi, P., Njukwe, E., Donsop-Nguezet, P.M., Sartas, M. Vanlauwe, B., 2016.

- Sustainable intensification of agricultural systems in the Central African Highlands: The need for institutional innovation. *Agricultural Systems*, 145, 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.03.005>
- Sewsaran, R., Khan, A., Stone, R. John, K., 2019. Resistance screening of 14 *Cajanus cajan* (L.) Millsp. cultivars to *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera:Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, 82, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.04.007>
- Silva, E.C.B., Lima, J.R.S., Antonino, A.C.D., Melo, A.A.S., Souza, E.S., Souza, R.M.S., Oliveira, C.L., Silva, V.P., 2011. Efeito da Irrigação Suplementar na Produtividade e Eficiência no Uso de Água da Palma Forrageira Elaine. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 23(6), 2774–2759.
- Silva, G.I.N., Jardim, A.M.R.F., Alves, H.K.M.N., Souza, M.S., Souza, C.A.A., Araújo Júnior, G.N., Alves, C.P., Pinehiro, A.G., Salvador, K.R.S., Leite, R.M.C., Costa, S.A.T., Silva, M.J., Silva, T.G.F., 2020a. Cultivo de plantas forrageiras de apelo regional para o Semiárido brasileiro sob a perspectiva de técnicas agrometeorológicas para melhoria da resiliência: uma revisão. *Research, Society and Development* 9, e1449108291. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8291>
- Silva, J.R.I., Jardim, A.M.R.F., Souza, E.S., Barros Junior, G., Leite, M.L.M.V., Souza, R., Antonino, A.C.D., 2020b. Inter-relação de técnica de manejo de água e solo aplicadas a cultura do milho: uma revisão. *Research, Society and Development* 9, 1-21. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4503>
- Silva, M.V., Pandorfi, H., Jardim, A.M.R.F., Oliveira-Júnior, J.F., Divincula, J.S., Giongo, P.R., ... & Lopes, P.M.O., 2021a. Spatial modeling of rainfall patterns and groundwater on the coast of northeastern Brazil. *Urban Climate*, 38, 100911. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100911>
- Silva, M.V., Pandorfi, H., Almeida, G.L.P., de Lima, R.P., Santos, A., Jardim, A.M.R.F., ... & da Silva, D.C., 2021b. 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, 103155. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103155>
- Silva, T.G.F., Primo, J.T.A., Morais, J. E. F., Diniz, W.J.S, Souza, C.A.A., Silva, M.C, 2015. . *Revista Caatinga*, 28, 10–18.
- Silveira, P.R.S., George Leite Mamede, G.L., 2021. Avaliação da aplicação de modelos de desprendimento em bacia experimental do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 396-406.
- Simão, E.D.P., Neto, M.M.G., Santos, E.A., Wendling, I.J., 2015. Produção de biomassa e composição bromatológica de duas cultivares de milho semeadas em diferentes épocas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 14, 196–206. <http://dx.doi.org/10.18512/19806477/rbms.v14n2p196-206>
- Sousa, P.G.R., Araújo Viana, T.V., Carvalho, C.M., Campos, K.C., Silva, F.L., Azevedo, B.M., 2019. Avaliação financeira do sorgo forrageiro no semiárido cearense. *Revista em Agronegocio e Meio Ambiente*, 12, 1465–1485. <https://doi.10.17765/2176-9168.2019v12n4p1465-1485>
- Souza, A.C., Ribeiro, R.P., Jacinto, J.T.D., Cintra, A.D.A.R., Amaral, R.S., Santos, A.C., Matos, F.S., 2013. Consórcio de pinhão manso e feijoeiro: alternativa para agricultura familiar. *Revista Agrarian*, 6, 36–42.
- Souza, F.R., Silva, I.M., Pellin, D.M.P., Bergamin, A.C., Silva, R.P., 2015. Características agrônômicas do cultivo de girassol consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. *Revista Ciencia Agronomica*, 46, 110–116.
- 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, 417-430. <https://doi.org/10.26545/ajpr.2019.b00051x>
- SUDENE– Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Delimitação do semiárido. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/>> Acesso em: 24 jul. 2021.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A., 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal (6° ed). Editora Artmed.
- Verslype, N.I., Miller, R., Caldas, D.S., Machado, J., Júnior, C., 2015. Potencial para o cultivo do girassol na Microrregião do Pajeú através do modelo digital do terreno. *Revista Geama*, 1, 279–292.
- Wang, J., Zhang, Y., Gong, S., Xu, D., Juan, S., Zhao, Y., 2018. Evapotranspiration, crop coefficient and yield for drip-irrigated winter wheat with straw mulching in North China Plain. *Field Crops Research*, 217, 218–228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.010>
- Wang, Y., Li, S., Qin, S., Guo, H., Yang, D., Lam, H.M., 2020. How can drip irrigation save water

- and reduce evapotranspiration compared to border irrigation in arid regions in northwest China. *Agricultural Water Management*, 239, 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106256>
- Yan, S., Wu, Y., Fan, J., Zhang, F., Paw, U.K.T., Zheng, J., Qiang, S., Guo, J., Zou, H., Xiang, Y., Wu, L., 2020. A sustainable strategy of managing irrigation based on water productivity and residual soil nitrate in a no-tillage maize system. *Journal of Cleaner Production*, 262, 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121279>
- Yang, D., Li, S., Kang, S., Du, T., Guo, P., Mao, X., Tong, L., Hao, X., Ding, R., Niu, J. 2020. Effect of drip irrigation on wheat evapotranspiration, soil evaporation and transpiration in Northwest China. *Agricultural Water Management*, 232, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106001>
- Yavuz, D., Seymen, M., Süheri, S., Yavuz, N., Türkmen, Ö., Kurtar, E.S., 2020. How do rootstocks of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) affect the yield and quality of watermelon under deficit irrigation? *Agricultural Water Management*, 241, 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106351>
- Yin, W., Chai, Q., Zhao, C., Yu, A., Fan, Z., Hu, F., Fan, H., Guo, Y., Coulter, J. A., 2020. Water utilization in intercropping: A review. *Agricultural Water Management*, 241, 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335>
- Zegada-Lizarazu, W., Parrish, D., Bert, M., Monti, A., 2013. Dedicated crops for advanced biofuels: Consistent and diverging agronomic points of view between the USA and the EU-27. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 1–17.
- Zhang, Y., Qiao, L., Chen, C., Tian, L., Zheng, X., 2021. Effects of organic ground covers on soil moisture content of urban green spaces in semi-humid areas of China. *Alexandria Engineering Journal*, 60, 251–259.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.08.001>
- Zhao, J., Yang, Y., Zhang, K., Jeong, J., Zeng, Z., Zang, H., 2020. Does crop rotation yield more in China? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 245, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107659>
- Zulu, L.C., Djenontin, I.N.S., Grabowski, P., 2021. From diagnosis to action: Understanding youth strengths and hurdles and using decision-making tools to foster youth-inclusive sustainable agriculture intensification. *Journal of Rural Studies*, 82, 196–209.
<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.01.023>