

A importância das práticas agrícolas para estabilidade de produção e resiliência de sistemas agrícolas

The importance of agricultural practices for production stability and resilience of agricultural systems

La importancia de las prácticas agrícolas para la estabilidad de la producción y la resiliencia de los sistemas agrícolas

DOI: 10.55905/oelv23n5-118

Receipt of originals: 4/18/2025

Acceptance for publication: 5/9/2025

Lara Nascimento Guimarães

Doutoranda em Agronomia/Fitotecnia

Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil

E-mail: laranascimentoguimaraes96@gmail.com

Décio Karam

Doutor em Ciências de Plantas Daninhas

Instituição: Colorado State University

Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil

E-mail: decio.karam@embrapa.br

Adenilson Henrique Gonçalves

Doutor em Ciências de Plantas Daninhas

Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Endereço: Lavras, Minas Gerais, Brasil

E-mail: adenilsonhg@ufla.br

Emerson Borghi

Doutor em Agronomia área de concentração em Agricultura

Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP)

Endereço: São Carlos, São Paulo, Brasil

E-mail: emerson.borghi@embrapa.br

Nathália Nascimento Guimarães

Doutoranda em Agronomia/Fitotecnia

Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil

E-mail: nathalianascimento92@gmail.com

Caíke de Sousa Pereira

Doutor em Agronomia/Fitotecnia
Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Endereço: Lavras, Minas Gerais, Brasil
E-mail: cksousa7@gmail.com

Tiago Yukio Inoue

Doutorando em Genética e Melhoramento de Plantas
Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Endereço: Lavras, Minas Gerais, Brasil
E-mail: tiagoyukio2014@live.com.pt

Isabela Goulart Custódio

Doutora em Produção Vegetal
Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)
Endereço: Diamantina Minas Gerais, Brasil
E-mail: Isabela.custodio@ufvjm.edu.br

RESUMO

A agricultura desempenha um papel fundamental na economia brasileira, consolidando o país como um dos maiores produtores mundiais de commodities e serviços agrícolas. A presente revisão de literatura objetivou analisar e discutir informações já publicadas sobre estratégias para minimizar os riscos climáticos, de forma a atualizar e aprofundar o conhecimento sobre o assunto. Para alavancar a agricultura, a sustentabilidade tornou-se essencial, integrando o conhecimento científico às práticas agrícolas. Nesse contexto, a intensificação do uso da terra, aliada a sistemas integrados como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e os Sistemas Agroflorestais (SAFs), tem mostrado impactos positivos na produtividade animal e vegetal. Uma das estratégias promissoras é o uso de consórcios agrícolas, que diversificam os sistemas produtivos, promovendo maior estabilidade por meio do fortalecimento e preservação de interações ecológicas. Um exemplo inovador é o Sistema Antecipe, desenvolvido pela Embrapa Milho e Sorgo. Essa tecnologia permite a semeadura intercalar do milho de segunda safra entre as linhas da soja ainda em fase de desenvolvimento, antes da colheita da leguminosa. Conclui que a ILPF, SAFs, o Sistema Plantio Direto (SPD), cultivos consorciados e Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) demonstram ser tecnologias que promovem maximização da produtividade e na redução de riscos climáticos, aumentando resiliência de sistemas agropecuários no Brasil.

Palavras-chave: Agricultura, Sustentabilidade, Riscos Climáticos.

ABSTRACT

Agriculture plays a key role in the Brazilian economy, consolidating the country as one of the world's largest producers of agricultural commodities and services. This literature review aimed to analyze and discuss information already published on strategies to minimize climate risks, in order to update and deepen knowledge on the subject. To

leverage agriculture, sustainability has become essential, integrating scientific knowledge with agricultural practices. In this context, the intensification of land use, combined with integrated systems such as Crop-Livestock Integration (CLI), Crop-Livestock-Forest Integration (CLFI) and Agroforestry Systems (AFS), has shown positive impacts on animal and plant productivity. One of the promising strategies is the use of agricultural consortia, which diversify production systems, promoting greater stability through the strengthening and preservation of ecological interactions. An innovative example is the Anticipate System, developed by Embrapa Maize and Sorghum. This technology allows the intercropping of second crop corn between the rows of soybeans still in the development phase, before the legume harvest. It concludes that CLFIs, AFSs, the No-Till System (NTS), intercropping and Agricultural Climate Risk Zoning (CRZ) demonstrate to be technologies that promote productivity maximization and climate risk reduction, increasing the resilience of agricultural systems in Brazil.

Keywords: Agriculture, Sustainability, Climate Risks.

RESUMEN

La agricultura desempeña un papel fundamental en la economía brasileña, consolidando al país como uno de los mayores productores mundiales de productos básicos y servicios agrícolas. La presente revisión de literatura tuvo como objetivo analizar y discutir información previamente publicada sobre estrategias para minimizar los riesgos climáticos, con el fin de actualizar y profundizar el conocimiento sobre el tema. Para impulsar la agricultura, la sostenibilidad se ha vuelto esencial, integrando el conocimiento científico con las prácticas agrícolas. En este contexto, la intensificación del uso de la tierra, junto con sistemas integrados como la Integración Cultivo-Ganadería (ILP), la Integración Cultivo-Ganadería-Bosque (ILPF) y los Sistemas Agroforestales (SAFs), ha mostrado impactos positivos en la productividad animal y vegetal. Una de las estrategias prometedoras es el uso de consorcios agrícolas, que diversifican los sistemas productivos, promoviendo una mayor estabilidad a través del fortalecimiento y la preservación de interacciones ecológicas. Un ejemplo innovador es el Sistema Antecipe, desarrollado por Embrapa Maíz y Sorgo. Esta tecnología permite la siembra intercalada del maíz de segunda cosecha entre las líneas de soja aún en fase de desarrollo, antes de la cosecha de la leguminosa. Se concluye que la ILPF, los SAFs, el Sistema de Siembra Directa (SPD), los cultivos en consorcio y el Zonificación Agrícola de Riesgo Climático (ZARC) han demostrado ser tecnologías que promueven la maximización de la productividad y la reducción de los riesgos climáticos, aumentando la resiliencia de los sistemas agropecuarios en Brasil.

Palabras clave: Agricultura, Sostenibilidad, Riesgos Climáticos.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura no Brasil é uma das principais atividades econômicas do país, posicionando-se entre os principais produtores mundiais de commodities e serviços agrícolas (Casagrande *et al.*, 2022). A alta produtividade no cenário agrícola só é alcançada através de tecnologias desenvolvidas para o cultivo de culturas específicas em cada região. A sustentabilidade na agricultura surgiu para incorporar esse conhecimento nas práticas agrícolas, com o propósito de preservar e valorizar os recursos naturais, além de proporcionar aumento de produtividade e lucratividade aos agricultores (Fonseca, 2024).

A intensificação do uso da terra, juntamente com sistemas integrados mais intensivos como ILP, a ILPF e SAFs, impactam positivamente no aumento da produtividade animal e vegetal (Barbosa *et al.*, 2015). Esses sistemas, quando implementados de maneira adequada, promovem a recuperação e a preservação da qualidade do solo (Cordeiro *et al.*, 2017; Heller; Pollnow, 2024). Essa contribuição é essencial para a sustentabilidade dos sistemas de produção, razão pela qual esses métodos devem ser incentivados (Nunes, 2019).

O Sistema de Plantio Direto (SPD) baseia-se em três pilares fundamentais: revolvimento mínimo do solo, rotação de culturas e cobertura permanente do solo, seja por cobertura morta (palha) ou plantas vivas (Bollinger *et al.*, 2006; Casão Junior, 2012). Esse sistema é amplamente utilizado dentro da agricultura conservacionista (Balbino *et al.*, 2011).

Além do SPD, outra estratégia sustentável é a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), que promove a sinergia entre atividades agrícolas, pecuárias e florestais, podendo gerar efeitos positivos, neutros ou até antagônicos nos fatores de produção (Armacolo, 2024).

Para potencializar a eficiência desses sistemas, a agricultura de precisão surge como uma ferramenta essencial. Com o uso de tecnologias como o mapeamento da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo, aplicação localizada de insumos e monitoramento remoto da vegetação e produtividade via imagens de satélite

ou Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), é possível otimizar o manejo e reduzir impactos ambientais (Grego *et al.*, 2024).

Novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para viabilizar diferentes opções de cultivos consorciados, principalmente para viabilizar o cultivo de duas ou mais espécies concomitantemente. A Embrapa desenvolveu um sistema de cultivo de grãos para diminuir o risco climático e dar maior estabilidade na produtividade de culturas em segunda safra. Denominado Sistema Antecipe, essa tecnologia inovadora utiliza uma técnica de cultivo intercalar mecanizada, que permite a semeadura do milho segunda safra nas entrelinhas da soja, antes da colheita da leguminosa. O sistema é baseado em dois princípios essenciais: uma abordagem inovadora de produção de grãos e uma semeadora-adubadora exclusiva (depósito de patente BR 10 2020 009566 8) (Karam, 2022). Com o objetivo de analisar e discutir informações já publicadas sobre estratégias para minimizar os riscos climáticos, de forma a atualizar e aprofundar o conhecimento sobre o assunto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

As alterações climáticas, caracterizadas por variações de temperatura, eventos extremos como secas e inundações, e aumento da frequência de pragas e doenças, exercem uma pressão crescente sobre a agricultura. A capacidade das culturas de resistir a essas adversidades é fundamental para garantir a segurança alimentar (Fahad *et al.*, 2021). Através das previsões futuras, há tendência de grande aumento de áreas inaptas ao cultivo em consequência ao incremento excessivo da temperatura. Estima-se que, a partir da década de 2050 e nos dois cenários analisados, passarão a inexistir no Espírito Santo áreas aptas ao cultivo das espécies *Pinus elliotti* var. *elliotti* e *Pinus taeda* e, ainda, as inaptas para o cultivo dessas espécies aumentam significativamente, chegando a 100% para todas elas, na década de 2080, no cenário A2 (Oliveira *et al.*, 2011).

Secas prolongadas podem causar estresse hídrico nas plantas, levando à redução da produtividade e à perda de qualidade dos alimentos (Zaib *et al.*, 2023). Nesse sentido,

o aumento da temperatura favorece a proliferação de pragas e doenças, como ácaros (*Tetranychus* spp.), ácaro da falsa ferrugem (*Phyllocoptruta oleivora*), percevejos (*Heteroptera*), cochonilhas (*Coccus* spp.), pulgões (*Aphis* spp.), moscas-brancas (*Bemisia* spp.), gorgulho (*Rynchophorus* spp.), formigas (*Solenopsis* spp. e outras), traças (*Cydia* spp.), lagartas (*Spodoptera* spp.), cigarrinhas (*Cicadellidae*), nematoides (*Meloidogyne* spp.), assim como doenças bacterianas (escaldadura das folhas, pústula bacteriana, raquitismo das soqueiras (*Xanthomonas* sp.), estrias vermelhas (*Pseudomonas* sp.), doenças fúngicas (pinta preta ou mancha de *Alternaria* (*Alternaria* spp.), mancha de *Stemphylium* (*Stemphylium* spp.), murcha de *Phytophthora* (*Phytophthora capsici*), murcha de *Sclerotium* (*Athelia rolfsii*) (Peace, 2020), intensificando as perdas agrícolas em diferentes graus de intensidade. A variabilidade climática também afeta o ciclo das culturas, dificultando o planejamento agrícola e aumentando a insegurança alimentar em diversas regiões (Toromade *et al.*, 2024). Para enfrentar esses desafios, é fundamental investir em estratégias de adaptação, como o desenvolvimento de cultivares mais resistentes, a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e a implementação de sistemas de seguro agrícola (Silva; Gosmann, 2024).

As culturas apresentam diferentes níveis de suscetibilidade a riscos climáticos. Por exemplo: plantas com sistemas radiculares profundos, como as braquiárias (Lavezzo *et al.*, 2020), mandioca (El-Sharkawy, 2012) e o sorgo (Mohanavel *et al.*, 2020), são geralmente mais tolerantes à seca do que culturas como o trigo e o milho (Soto-Gómez; Pérez-Rodríguez, 2022). Essas plantas apresentam diferenças em sua fisiologia para converter com maior eficiência matéria seca em condições de restrição hídrica. Por outro lado, culturas como o arroz irrigado, que dependem fortemente da eficiência do uso da água, são altamente suscetíveis a secas e variações de chuvas (Huang *et al.*, 2021). As diferenças fenológicas também desempenham um papel crucial. Algumas espécies têm estádios críticos de desenvolvimento, como a fase de florescimento, onde são mais vulneráveis a estresses climáticos, como o calor excessivo ou a falta de água (Scheepens *et al.*, 2018).

A diversidade genética dentro de uma espécie também desempenha papel crucial na adaptação a diferentes condições climáticas. A seleção natural favorece indivíduos

com características que os tornam mais aptos a sobreviver em condições desfavoráveis de cultivo, como a capacidade de tolerar temperaturas extremas ou a resistência a doenças (Hoffmann; Parsons., 1997). O melhoramento genético tem sido utilizado para desenvolver cultivares com maior tolerância a estresses abióticos e bióticos (Gonzalez Guzman *et al.*, 2022). Além das características genéticas, práticas de manejo adequadas, como a rotação de culturas, a cobertura do solo e a irrigação eficiente, podem aumentar a resiliência das culturas aos riscos climáticos (Yu *et al.*, 2022).

Diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, a adoção de cultivos intercalares tem se destacado como uma estratégia promissora para aumentar a resiliência dos sistemas agrícolas. Essa prática consiste no cultivo simultâneo de duas ou mais espécies na mesma área, proporcionando benefícios como o melhor aproveitamento dos recursos naturais, a redução da incidência de pragas e doenças e o aumento da estabilidade produtiva (Nascimento, 2022; Li *et al.*, 2020).

Práticas agroecológicas associadas, como a rotação de culturas e a manutenção da cobertura do solo, também contribuem para a mitigação dos impactos climáticos, melhorando a conservação do solo e aumentando a eficiência do uso da água (Altieri *et al.*, 2015; Awazi, 2022). Além disso, a implementação de sistemas de alerta precoce pode auxiliar os agricultores na tomada de decisões estratégicas, minimizando riscos e otimizando a produtividade em sistemas de cultivo intercalar (Singh; Gupta, 2024; Martinez; Garcia, 2024; Baker; Rodrigues, 2024).

2.2 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO PARA OS CULTIVOS AGRÍCOLAS

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) implementou a Instrução Normativa SPA/MAPA nº 2, de 9 de novembro de 2021, instituindo o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), com o objetivo de fornecer informações com dados parametrizados visando reduzir os riscos de frustação de safra de diferentes cultivos agrícolas no Brasil. Essa ferramenta estratégica utiliza modelos climáticos e dados agrometeorológicos para avaliar o risco de produção em diferentes

regiões do país, auxiliando os produtores na escolha das melhores épocas e locais para a semeadura que foram estabelecidos através da Instrução Normativa nº 2 de agosto de 2022 (Brasil, 2022). A adoção do ZARC tem sido fundamental para mitigar as perdas econômicas em culturas de grande importância, como a soja e o milho, contribuindo para a sustentabilidade do setor agrícola brasileiro (Buainain; Silveira, 2017).

O ZARC também é uma ferramenta agrícola que leva em conta as características intrínsecas do solo, como tipo 1 (textura arenosa, com teor mínimo de 10% de argila e menor do que 15% ou com teor de argila igual ou maior do que 15% textura), tipo 2 (textura média, com teor mínimo de 15% de argila e menor do que 35%) e tipo 3 (textura argilosa, com teor de argila maior ou igual a 35%), profundidade e drenagem, que influenciam diretamente o potencial produtivo das culturas (Brasil, 2021a). Ao utilizar essas informações, o agricultor pode tomar decisões mais assertivas quanto à escolha de cultivares, épocas de plantio e manejo do solo. A seleção de cultivares adaptadas a condições específicas de solo e clima resulta em maior eficiência no uso de recursos naturais, como água e fertilizantes, e contribui para a sustentabilidade do sistema produtivo (Brasil, 2021b).

Associado ao ZARC, o uso de tecnologias conservacionistas, como o SPD e a ILPF ajudam a melhorar a qualidade do solo e a reduzir a erosão (Altieri, 2018; Landau *et al.*, 2013). A partir das informações geradas através do ZARC as instituições gerenciais (Embrapa, MAPA, INMET, ANA, USP, UNESP e UFRGS) e financeiras (Banco do Brasil, Caixa Econômica Federal, BNDES) formulam e implementam políticas públicas como programas de crédito, seguro rural e subsídios, direcionando recursos para áreas com maior potencial produtivo e menor risco climático. Ao priorizar áreas de menor risco climático, as políticas públicas contribuem para a segurança alimentar, a redução das perdas na produção e a promoção do desenvolvimento rural sustentável (Evangalista *et al.*, 2022). A articulação do zoneamento com outros instrumentos de política, como os planos diretores municipais e estaduais, é fundamental para garantir a coerência e a eficácia das ações governamentais.

Pesquisas que comparam a produtividade das culturas com o uso do ZARC mostraram resultados favoráveis à adoção desse sistema. No estudo de Oliveira *et al.*,

(2023), analisando o cultivo de soja em Mato Grosso na safra 2021/22, compararam a produtividade da cultura sob dois cenários: adotando como início da semeadura a experiência baseada na precipitação acumulada, ao longo do ciclo da cultura, superior à 850 mm e outro, com a utilização das informações do ZARC, que define os melhores períodos de plantio em que o risco seja de 20%. A análise revelou que o uso do ZARC, com base em dados climáticos específicos, resultou em uma produtividade superior, com ganho médio de 66,3 kg ha⁻¹ em relação ao cultivo sem o uso da ferramenta.

Estudos de Monteiro *et al.* (2019) demonstram que, em municípios como Passo Fundo (RS), onde a produtividade de soja foi monitorada entre 2001 e 2017, o uso de dados do ZARC ajudaram na mitigação de riscos no cultivo da soja. Em regiões mais favoráveis, como Irineópolis (SC), onde a média de produtividade foi de 3,3 t ha⁻¹, a estabilidade também foi maior quando o ZARC foi seguido, enquanto em áreas de risco mais alto, como Alegrete (RS), o uso do ZARC ajudou a minimizar os impactos de variabilidade climática, melhorando a produtividade média para 2,7 t ha⁻¹.

2.3 CULTURAS ADAPTADAS À SECA

Além dos impactos diretos, como a perda da produtividade, os impactos indiretos, há o aumento dos preços dos produtos e redução de mão de obra (Rose, 2004). Para contornar esses impactos, a deficiência hídrica levou a seleção de plantas ao longo dos anos, que desenvolveram mecanismos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos, celulares e moleculares que as fazem sobreviverem e se propagarem de forma mais eficaz (Wang *et al.*, 2024b).

Em resposta ao déficit hídrico, as plantas modificam a fotossíntese e a troca gasosa, conteúdo de água das plantas, absorção e transporte de íons, reação de oxigênio - sistemas antioxidantes, sistemas de ajuste osmótico e regulação hormonal (Wang *et al.*, 2024b). Em consequência disso, diversas características morfológicas na planta são alteradas, em especial na raiz e folha, para melhoria do potencial hídrico, conteúdo de ABA e estabilidade da membrana celular, que são objetos de estudos em fisiologia vegetal e melhoramento principalmente pela estreita relação na ocorrência destes compostos na

resistência das plantas à seca (Fang; Xiong, 2015; Sallam *et al.*, 2019; Bandurska, 2022).

As plantas adaptadas à seca frequentemente exibem modificações anatômicas, como observado em Vassura *et al.* (2024). Na cultura do alho, os autores observaram que determinadas cultivares apresentaram maior tolerância à seca, atribuída à eficiência no uso da água e a alterações na funcionalidade dos estômatos tanto na superfície abaxial quanto adaxial das folhas. Essa adaptação permite um melhor controle da transpiração e da troca gasosa, reduzindo a perda de água em condições de déficit hídrico. Como resultado, essas cultivares conseguem manter um melhor equilíbrio hídrico e continuar seu desenvolvimento mesmo em ambientes com menor disponibilidade de água. Entre as cultivares analisadas, destacaram-se aquelas com maior eficiência nesse mecanismo em comparação com Amarantes, BRS Hozan, Caçador, Crespo, Chinês Folha Fina, Gigante Roxo Escuro e Ito.

O ajuste osmótico também impacta o potencial hídrico das plantas, garantindo o fluxo de água para as células. Cultivares adaptadas podem reduzir o potencial hídrico foliar sem comprometer o funcionamento metabólico, como observado em diferentes espécies lenhosas gonçalo-alves, guanandi, ipê-amarelo, ipê-rosa, marupá e mogno (Campelo *et al.*, 2018). Assim como no estudo de Miranda (2023), que teve alteração osmótica nos genótipos de cafeeiros H.T. 376-31 e H.T. 408-11, com redução significativa na turgescência plena e ponto de perda de turgescência com médias de 0,15 e 0,25 Mpa para o déficit hídrico.

O ácido abscísico (ABA) é crucial na resposta ao estresse hídrico, promove fechamento estomático diminuindo a transpiração, consequentemente, reduzindo a perda de água (Pacheco *et al.*, 2021). O aumento do ABA em plantas sob estresse hídrico é uma resposta frequente e correlacionada ao ajuste osmótico e à síntese de prolina (Folli-Pereira *et al.*, 2012). A concentração de ABA está intrinsicamente ligada a associação das raízes com micorrizadas que apresentam maior tolerância ao estresse hídrico devido à regulação de osmólitos e aquaporinas (Folli-Pereira *et al.*, 2012). Esta associação tem como benefício a melhoria no crescimento e desenvolvimento das plantas, devido ao aumento da absorção de água e nutrientes pela planta, tornando-a mais tolerante ao déficit hídrico quando comparadas a culturas que não realizam esta associação. Na linhagem de soja

13241, foi observada uma alta concentração de ácido abscísico (ABA), hormônio vegetal associado à resposta ao estresse hídrico, o que favoreceu um maior acúmulo de matéria seca nas raízes. Esse aumento no crescimento radicular indica uma adaptação da planta para explorar melhor a umidade do solo, tornando-a mais resistente a condições de déficit hídrico. Em comparação com as linhagens 11377, 11644, E48 e 13241, a linhagem 13241 apresentou um desenvolvimento radicular mais robusto, possivelmente devido à regulação hormonal promovida pelo ABA, permitindo maior absorção de água e nutrientes (Silva, 2017).

A integridade das membranas da parte aérea e raízes são mantidas pela composição de lipídios e acumulação de osmólitos, que protegem contra danos causados por estresse oxidativo (Braga, 2018). No experimento conduzido por Pereira (2024) com genótipos de eucalipto, a irrigação foi suspensa até o terceiro dia após o transplante, e o nível de danos às membranas celulares foi avaliado por meio do índice de extravasamento de eletrólitos. Esse índice reflete a integridade das membranas, sendo que valores mais altos indicam maior estresse celular e danos estruturais devido à desidratação. Entre os genótipos analisados, o genótipo 5 (híbrido *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*) apresentou o menor índice de extravasamento de eletrólitos, sugerindo uma maior estabilidade das membranas celulares e, consequentemente, uma melhor capacidade de tolerância ao estresse hídrico. Esse resultado indica que essa linhagem possui mecanismos fisiológicos mais eficientes para lidar com a falta de água, minimizando os danos celulares e mantendo o funcionamento metabólico por mais tempo em condições adversas.

As alterações fenotípicas associadas a seca são perceptíveis na parte aérea das plantas de soja apresentando ondulações nas folhas e amarelecimento da borda, e no sistema radicular, é notório o desenvolvimento interrompido (Wang *et al.*, 2022). Na cultura do arroz, a deficiência hídrica é observada com a redução do número, volume e peso seco das raízes (Jing *et al.*, 2024). Outro efeito relacionado ao estresse hídrico que tem sido constatado é a diminuição da altura da parte aérea, como exemplo, foi observado em plantas de beterraba sacarina através da constatação da redução da biomassa e da área foliar em estudo desenvolvido por Tan *et al.* (2023).

A estratégia de alteração no sistema radicular de culturas como milho e sorgo tornam essas particularmente resistentes a condições de estiagem (Theodoro, 2021). O sistema radicular profundo e eficiente na utilização da água dessas culturas permite explorar camadas mais profundas do solo em busca de água, enquanto sua cutícula cerosa reduz a perda hídrica por transpiração (Liu *et al.*, 2024).

O uso de índice de suscetibilidade é avaliado comparando a produtividade sob condições de déficit hídrico (Y_s), com a produtividade em condições ótimas de disponibilidade de água (Y_p). No experimento conduzido por Yahaya *et al.* (2023) na Universidade de KwaZulu-Natal da África do Sul, avaliou-se a tolerância à seca de diferentes genótipos de sorgo. Os genótipos G86 e G108 apresentaram baixos valores no índice de suscetibilidade à seca, com 0,07 e 0,11, respectivamente, indicando maior tolerância ao estresse hídrico. Em contraste, os genótipos G81 (2,03) e G97 (1,92) foram classificados como suscetíveis, demonstrando maior impacto negativo da restrição hídrica no desenvolvimento das plantas.

De maneira semelhante, no estudo realizado por Tharanya *et al.* (2017) na Estação Experimental dos Estados Unidos, o genótipo PRLT-2/89-33 de milho foi caracterizado como adaptado à seca devido à sua estratégia de reduzir a captação de água antes da floração. Essa adaptação permitiu um uso mais eficiente da água disponível, aumentando a resiliência da cultura em condições de déficit hídrico, enquanto o genótipo H77/833-2 foi classificado como sensível à seca devido à sua menor eficiência no uso da água.

A indução da peroxidase (POD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e ácido ascórbico (AsA), e os níveis de prolina e açúcar solúvel são alteradas bioquimicamente pelo estresse hídrico, reduzindo os efeitos negativos do dano oxidativo nas plantas, acarretando na osmorregulação na cultura do tabaco (Khan *et al.*, 2020). O baixo acúmulo de prolina reduz a atividade do guaiacol peroxidase (GPOX), APX e CAT em plantas transgênicas de cana-de-açúcar que expressam o gene AtBI-1 de *Arabidopsis thaliana*, reduzindo os efeitos da morte celular programada desencadeado por estresses bióticos e abióticos (Barbosa, 2013).

O desenvolvimento de culturas fora de períodos de estiagem tem sido uma alternativa para evitar grandes danos às plantas devido ao estresse hídrico em ambiente

de cultivo (Riboni *et al.*, 2013).

Características fisiológicas como a fluorescência da clorofila e as trocas gasosas nas folhas também são frequentemente utilizadas para avaliar a resposta aos estresses bióticos e abióticos (Singh *et al.*, 2022). O mecanismo fotossintético de plantas quando submetido ao estresse hídrico altera de acordo com a variedade. As variedades criolas de milho, Elotillo e Xmejen-naal foram eficientes fotossinteticamente, expressando altas taxas de assimilação e baixa concentração intercelular de CO₂, tornando-as mais eficiente na utilização da água quando comparada a cultivares comerciais (Dos-Santos *et al.*, 2024).

Períodos curtos de estresse hídrico podem trazer benefícios para o crescimento das plantas através de estímulo para propagação e frutificação (Wang *et al.*, 2024b; Yang *et al.*, 2021). Para escape ao estresse hídrico nas culturas, também pode-se utilizar a implementação de projetos de irrigação e modernização tecnológica, o cultivo de espécies tolerantes/resistentes à seca, utilização de espécies com maior eficiência de uso da água, alteração da data de semeadura, cultivo em ambiente protegido, variação de culturas com necessidades fisiológicas diferentes e ciclos curtos, além de adotar um sistema de apoio financeiro compatível com o cenário do agricultor em caso de perdas na produção por condições climáticas adversas (Sotta *et al.*, 2021).

2.4 USO DA BIOTECNOLOGIA PARA TOLERÂNCIA À SECA

As plantas geneticamente modificadas desencadeiam diversos processos fisiológicos em resposta ao estresse hídrico. A regulação da transpiração é um dos principais mecanismos de controle hídrico das plantas (Ilyas *et al.*, 2021). As plantas possuem genes alterados que possibilitam um fechamento mais eficaz dos estômatos, estruturas encarregadas que regulam a troca de gases e a evaporação da água (Ruggiero *et al.*, 2017). Este processo possibilita que as plantas preservem água e previnam a formação exagerada de embolias no xilema (Manandhar *et al.*, 2024), diminuindo a perda de água através da transpiração, sem prejudicar significativamente o processo de fotossíntese, crucial para a geração de energia (Fathi *et al.*, 2024).

A biotecnologia e o melhoramento genético proporcionam instrumentos potentes

para desenvolver variedades resistentes a condições desfavoráveis, tais como: seca, salinidade e altas temperaturas (Khokharvoytas *et al.*, 2023). A criação de Organismos Geneticamente Modificados (OGM) resistentes à seca requer a alteração de plantas para se adaptarem melhor a períodos de escassez de água (Das *et al.*, 2023). Isso é obtido através da introdução de genes que aprimoram a eficiência no uso da água, expandem os sistemas radiculares ou controlam as reações ao estresse (Gupta; Singh, 2016). Essas alterações podem potencializar a produção agrícola em regiões áridas e auxiliar na segurança alimentar frente às alterações climáticas (Pržulj *et al.*, 2020).

A transgenia possibilitou o desenvolvimento de culturas resistentes à seca, que possuem maior expressão genética para a produtividade em regiões áridas quando comparada a cultivares convencionais (Li *et al.*, 2022). Os OGMs (Organismo Geneticamente Modificado) são criados para aprimorar a produtividade agrícola e a segurança alimentar, particularmente em áreas propensas à falta de água (Pržulj *et al.*, 2020). Além da transgenia, métodos de modificação genética, como o CRISPR-Cas9 e a mutagênese têm sido aplicados para produzir diversidade genética e identificar genes ligados à resistência a estresses (Sami *et al.*, 2021). Contudo, o progresso e a implementação de culturas transgênicas encontram obstáculos ligados a custos, normas regulamentadoras e aceitação social.

A osmoproteção é uma estratégia de resistência à seca, que produz mais solutos compatíveis, tais como prolina, glicina-betaína e açúcares (Barman *et al.*, 2022). A expressão de genes responsáveis pela biossíntese desses osmólitos pode potencializar consideravelmente sua acumulação e aprimorar a resistência das plantas a estresses abióticos (Esmaili *et al.*, 2022). Em momentos de estiagem intensa, esses solutos contribuem para a manutenção do equilíbrio osmótico nas células, evitando a desidratação, resguardando as proteínas e membranas celulares dos prejuízos provocados pelo estresse hídrico (Ferrari *et al.*, 2015).

Os progressos na biotecnologia também possibilitaram a inserção de genes que regulam a produção de proteínas que atuam na defesa contra o estresse oxidativo (Melicher *et al.*, 2022). No período de seca, a fisiologia da planta é alterada com acúmulo de espécies reativas de oxigênio nas células, que pode resultar em prejuízos às estruturas

celulares (Schachdev *et al.*, 2021). As plantas modificadas com a introdução dos genes de tolerância a seca exibem um aumento na produção de enzimas antioxidantes, tais como superóxido dismutase e catalase, que neutralizam esses radicais livres e resguardam as células contra o estresse (Berwal *et al.*, 2021).

Os estudos em campo sugerem que as culturas geneticamente modificadas podem ser uma alternativa viável para lidar com os desafios trazidos pelas alterações climáticas (Mishra, 2019), particularmente em áreas propensas à seca (Das *et al.*, 2023). Contudo, é crucial enfatizar que o rendimento dessas plantas é influenciado por uma mistura de elementos genéticos e ambientais, e os benefícios podem diferir conforme a severidade e a extensão da seca, bem como as condições de gestão da cultura.

Culturas como o algodão (*Gossypium hirsutum*) possuem uma alteração em sua arquitetura do sistema radicular e síntese de proteínas relacionadas à retenção de água e manutenção da integridade celular (Guo *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2024a). A partir da identificação de cultivares de algodão como: Ji668, Guoxinmian 02, Xuzhou 1818 e Han 6203 que possuem maior tolerância à seca, tanto no índice de tolerância à seca quanto na avaliação abrangente (Guo *et al.*, 2024) é possível identificar e manipular genes que regulam a tolerância à seca e introduzi-los em outras cultivares que não possuem esses genes.

A utilização de mapeamento genético (QTL) e estudos de associação ampla do genoma (GWAS) têm identificado loci e genes candidatos associados à resistência à seca em várias culturas, incluindo trigo, arroz e grão-de-bico (Araújo, 2023). Esses esforços permitem uma abordagem mais precisa no melhoramento de cultivares resistentes.

O gene da soja transgênica HB4, desenvolvida a partir do gene do girassol HaHB4, codifica o fator de transcrição HaHB4, com a finalidade de melhorar a resistência à seca (Ribichich *et al.*, 2020). A ativação do gene HB4 na soja levou a um aumento de produtividade em situações de estresse hídrico, em locais quentes e secos, devido as vantagens adquiridas pela cultura, em especial maior diâmetro do epicótilo, área do xilema e eficiência na utilização da água (Ribichich *et al.*, 2020).

O milho MON 87460 contém o gene *cspB*, derivado de *Bacillus subtilis*, o qual codifica a proteína CSPB (do inglês Cold Shock Protein B, ou proteína de choque frio B)

que é eficiente na restrição de água. Este também contém o gene *nptII*, derivado de *Escherichia coli*, o qual codifica a proteína NPTII, o que confere resistência a neomicina e canamicina (Harrigan *et al.*, 2009).

2.5 SISTEMAS INTENSIFICADOS AGROPECUÁRIOS

A monocultura pode gerar efeitos socioeconômicos, tais como a insegurança alimentar e a vulnerabilidade financeira dos agricultores familiares, conflitos no campo, alterações nas táticas de sobrevivência, entre outros (Jezeer *et al.*, 2018; Harvey *et al.*, 2021). Esta prática também pode causar diversos efeitos nocivos nos serviços ecossistêmicos e questões ambientais, tais como deterioração e erosão do solo, perda de biodiversidade e agrobiodiversidade, alterações nos padrões de emissão de gases de efeito estufa, contaminação da água entre outros (Torrens, 2020).

Como melhoria do processo produtivo, a intensificação do uso do solo e a implementação de sistemas integrados de produção são alternativas que impactam a produção agropecuária, por meio da transformação e diversificação. A intensificação resulta em melhoria das condições do solo, interrupção do ciclo de doenças e pragas, diversificação de fontes de renda, diminuição de custos para processamento e recuperação de áreas degradadas, além da diminuição das emissões de gases de efeito estufa (Barbosa *et al.*, 2015).

No Brasil, programas como o Plano ABC+, criado pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), têm promovido a implementação de tecnologias como: Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Sistemas Agroflorestais (SAFs), Sistema Plantio Direto (SPD), Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN), Florestas Plantadas (FLP), Tratamento de Dejetos Animais (TDA) e outras técnicas de adaptação às mudanças climáticas, priorizando práticas de gestão sustentável e a redução das emissões de gases de efeito estufa (Brasil, 2021).

O SPD reduz o revolvimento do solo, utiliza a alternância de culturas e mantém uma cobertura vegetal contínua, elementos que contribuem para a manutenção da saúde

do solo e o aumento da produtividade. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) combinam atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais nas mesmas unidades de produção, em um determinado arranjo espacial e temporal (Mapa, 2023).

As recentes iniciativas para avaliar e aprimorar a absorção de carbono pelo solo e a habilidade de reter água em sistemas intensificados no ambiente tropical visam alinhar a produção agrícola com as obrigações internacionais do Brasil em relação às alterações climáticas e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Agência Gov, 2023).

2.6 RESPOSTA DE PLANTAS FORRAGEIRAS COMO ALTERNATIVA PARA COBERTURA DO SOLO E ROTAÇÃO EM SISTEMAS DE CULTIVO CONSORCIADOS (SPD)

Os cultivos consorciados aumentam a diversidade nos sistemas produtivos, proporcionando maior estabilidade por meio da preservação das interações ecológicas (Lima *et al.*, 2020). Além disso, essas práticas podem favorecer o controle biológico ao ampliar a presença de inimigos naturais de fitopatógenos. O sucesso do consórcio depende de diversos fatores, como a biologia e função dos organismos envolvidos, a presença de plantas espontâneas e as condições ambientais (Tilman *et al.*, 1996; Barros *et al.*, 2020; Menezes *et al.*, 2021).

A associação e seleção de espécies pode ser eficiente no controle de pragas, diminuindo sua presença através de interações vantajosas entre plantas com resultados que variam conforme as combinações realizadas. No trabalho de Silva (2006), observou que a rotação couve e milho “verde” em cultivo intercalar com leguminosas (*Mucuna deeringiana* e *Crotalaria spectabilis* em consórcio com a couve; *C. juncea* e *M. pruriens* com milho) teve a alta incidência de pulgões no primeiro cultivo de couve, e no segundo ano a infestação foi bastante reduzida, devido a possível formação de ambiente favorável a sobrevivência de inimigos naturais.

A utilização de plantas de cobertura em consórcios, aprimora as propriedades físicas e químicas do solo, aumentando a matéria orgânica, a capacidade de reter umidade e a absorção de água (Oliveira *et al.*, 2024), além de diminuir a erosão e aprimorar a

sustentabilidade na agricultura em sistemas como a semeadura direto (Sznitowski-Adelice *et al.*, 2022).

No consórcio, há a liberação de aleloquímicos. Em cultivares do gênero *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) como por exemplo *Brachiaria. brizantha* cv. Marandú e *B. decumbens* interferiram na germinação de sementes de *Stylosanthes guianensis*, e *B. decumbens* na germinação de *S. capitata* (Rodrigues *et al.*, 2012).

As novas tecnologias em cultivos consorciados têm sido avaliadas em diferentes condições no Brasil. A técnica de cultivo intercalar em fileiras consiste em cultivar plantas secundárias em fileiras alternadas com a cultura principal (Chen *et al.*, 2004). Os cultivos intercalares em faixas se desenvolvem em faixas amplas o suficiente para o cultivo individual, mas estreitas o bastante para permitir a interação ecológica entre cada cultura (Brennan, 2016). A semeadura intercalar antecipada, tanto de culturas produtoras de grãos como espécies forrageiras gramíneas e leguminosas, é uma prática eficaz para minimizar os riscos climáticos e potencializar a sustentabilidade dos sistemas de produção através da semeadura simultânea de duas ou mais culturas (Karam *et al.*, 2020; Maitra *et al.*, 2021). Já o cultivo intercalar defasado caracteriza-se pela semeadura sequencial de diferentes culturas ou coberturas vegetais, com períodos de sobreposição em seus ciclos de desenvolvimento, maximizando o uso do solo ao longo do ano (Parsons *et al.*, 2007).

A semeadura intercalar é vantajosa em áreas tropicais e subtropicais, onde as condições climáticas permitem a produção de várias culturas ao longo do ano (Altieri, 2009). A interação entre as plantas pode proporcionar uma série de vantagens, como o incremento da produtividade, conservação de recursos ecológicos, reciclagem de nutrientes, a resistência ao ataque de pragas, os altos níveis de biodiversidade, otimização do uso de água e qualidade do solo (Maitra *et al.*, 2021; Chamkhi *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2024b). No estudo de Schneider (2021), o cultivo intercalar de trigo-soja e milho em sucessão, facilitou a semeadura antecipada de *Zea mays* em 15 dias, proporcionando um aumento de produtividade de 1.956 kg ha⁻¹ em relação ao cultivo convencional de milho após a soja.

Aliado a esse sistema, a diversidade de culturas pode atenuar a ameaça de insetos

pragas, patógenos e plantas daninhas, uma vez que monocultivos podem ser mais propícios aos problemas fitossanitários (Jaworski *et al.*, 2023). O cultivo intercalar de grão-de-bico com linhaça reduziu a ocorrência e a severidade de queimadura de *Ascochyta* (*Ascochyta rabiei*) no grão-de-bico em até 67%, quando comparada ao monocultivo (Zhou *et al.*, 2023). No cultivo intercalar, as culturas milho, amendoim, sorgo, algodão e arroz favorecem ao menor efeito dos estresses ambientais (seca) através de sistema radicular profundo, proteção contra a radiação solar excessiva, redução de pragas e doenças, melhoria da estrutura do solo e estabilidade no fornecimento de nutrientes (Olaoye, 2012).

A adição de leguminosas pode auxiliar na fixação biológica de nitrogênio, essencial para o desenvolvimento das plantas (Nascimento *et al.*, 2024). A incorporação de leguminosas em sistemas intercalares de cultivo pode auxiliar na fixação biológica de nitrogênio, podendo elevar a produção de milho em até 35% (Phiri *et al.*, 2024; Chamkhi *et al.*, 2022; Lai *et al.*, 2022).

A prática do sistema intercalar requer um planejamento meticuloso, para selecionar culturas que não entrem em competição por recursos como luz, água e nutrientes (Bybee-Finley; Ryan, 2018). Se o planejamento for ineficiente, a produtividade pode ser afetada de forma negativa (Ndegwa *et al.*, 2023). No experimento de Vazeux-Blumental *et al.*, (2024), o milho e feijão no sistema intercalar ficaram prejudicados com a competição por água, nutrientes e espaço, em especial a leguminosa, resultando em menor produtividade mesmo com a melhoria na qualidade das sementes (Vazeux-Blumental *et al.*, 2024).

O manejo mais complexo requer um nível técnico maior por parte dos agricultores (Bannister; Nair, 1990), o que pode dificultar a implementação em maior escala, especialmente em regiões com pouca disponibilidade de informação e capacitação. Na implementação do sistema intercalar deve-se considerar as combinações de culturas adequadas, épocas de semeadura, maturidade das culturas e densidade das plantas para obter maior ganho de produtividade (Arina *et al.*, 2021). A colheita no sistema intercalar necessita de cautela, visto que as culturas envolvidas possuem diferentes desenvolvimentos fisiológicos (Wu *et al.*, 2021).

O sistema intercalar pode diminuir o risco financeiro dos agricultores ao oferecer diversas fontes de renda (Teshome, 2019). Se uma das culturas sofrer algum estresse devido a circunstâncias desfavoráveis, pode haver compensação da perda econômica pela cultura em consórcio (Olaoye, 2012), consequentemente, há maiores retornos financeiros e a melhores relações custo-benefício (Fung *et al.*, 2019). A combinação de diversas culturas favorece a estabilidade da produção agrícola em contextos desafiadores, favorecendo, inclusive, pequenas propriedades, pela maior otimização da área e, principalmente, aproveitando de forma mais eficiente os recursos naturais disponíveis (Rahman *et al.*, 2021).

Além de outros benefícios, essa prática também contribui para a resiliência dos ecossistemas agrícolas. A combinação de diversas culturas pode gerar microclimas mais propícios às espécies consorciadas, reduzindo a perda de água por evapotranspiração (Tamburini *et al.*, 2020) e protegendo o solo contra processos erosivos e de degradação (Marcondes, 2022). O cultivo consorciado, ao mesclar diversas espécies vegetais, gera uma estrutura de vegetação mais complexa, capaz de alterar as condições microclimáticas. Por exemplo, plantas de porte mais elevado podem proporcionar sombra parcial para culturas de menor porte, minimizando o estresse térmico e a perda de água por evaporação (Gianoli *et al.*, 2006). Adicionalmente, a variedade de culturas no sistema intercalar pode incrementar a quantidade e a variedade de microrganismos benéficos presentes no solo, tais como bactérias e fungos (He *et al.*, 2023; Guo *et al.*, 2024). Essa comunidade microbiana mais abundante pode aprimorar a ciclagem de nutrientes, a estrutura do solo e a capacidade de reter água, criando um microclima do solo mais propício para o desenvolvimento das plantas (Yang *et al.*, 2022).

Esse sistema intercalar pode ser aplicado em diversas configurações espaciais. No cultivo intercalar misto, diversas culturas se desenvolvem ao mesmo tempo sem formações de fileiras distintas (Agegnehu *et al.*, 2008).

O sistema intercalar apresenta benefícios notáveis no âmbito da agricultura sustentável, fomentando uma maior resistência dos sistemas de produção, um melhor uso dos recursos, maior produtividade total, melhor saúde do solo, e redução de pragas e doenças. Isso faz com que a semeadura intercalar seja uma tática promissora para uma

agricultura mais sustentável e eficiente. Contudo, é essencial um planejamento metódico e a disponibilização de informações técnicas apropriadas para que os agricultores possam aderir ao sistema de forma eficaz.

3 CONCLUSÃO

A agricultura brasileira enfrenta desafios crescentes devido às mudanças climáticas e à pressão por uma produção cada vez mais sustentável. Adotar práticas como a ILPF, SAFs, o SPD e cultivos consorciados contribuem para a recuperação ambiental, mas também promovem a resiliência dos sistemas produtivos em face de fenômenos climáticos adversos. Tecnologias inovadoras, como os cultivos intercalares antecipados e o ZARC, demonstram ser efetivas na maximização da produtividade e na minimização de riscos climáticos, oferecendo oportunidades valiosas para os agricultores. É imperativo que se continue o investimento em pesquisa e capacitação técnica, assegurando que essas práticas sustentáveis sejam amplamente adotadas.

O futuro da agricultura brasileira depende da capacidade dos produtores em se adaptarem e inovarem, preservando assim tanto a segurança alimentar quanto os recursos naturais essenciais. A integração do conhecimento técnico com práticas sustentáveis é a chave para uma agropecuária que busca não apenas produtividade, mas também a harmonia com o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Fundação Agrisus (processo 3084/21) e Universidade Federal de Lavras (UFLA).

REFERÊNCIAS

AGEGNEHU, G.; A. GHIZAW A.; SINEBO W. Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. **Agronomy for sustainable development**, v. 28, p. 257-263, 2008.

AGÊNCIA GOV. **Embrapa inicia execução de projeto inédito em apoio à agricultura de baixa emissão de carbono**: A iniciativa tem foco em sistemas integrados e intensificados de produção agropecuária, 2023. Disponível em: <https://agencia-gov.ebc.com.br/noticias/202311/embrapa-inicia-execucao-de-projeto-inedito-em-apoio-a-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>. Acesso em: 18 nov. 2024.

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. O equivalente em carbonato de cálcio dos corretivos da acidez dos solos. **Scientia Agrícola**, v. 53, n. 2/3, p. 204-210, 1996.

ALTIERI, M. A.; LANA, M. A.; HENAO, A.; NICHOLLS, C. I. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agronomy for sustainable development**, v. 35, n. 3, p. 869-890, 2015.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados de cultivo en el tropico. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, n. 73, p. 8-20, 2004.

ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; SANTANA, D. P.; SILVEIRA, M. C. T.; BORGHI, E. (ed.). Quinze anos de integração lavoura-pecuária e dez anos de integração lavoura-pecuária-floresta na Embrapa Milho e Sorgo. In: GONTIJO NETO, M. M.; CAMPANHA, M. M.; COSTA, T.; SIMÃO, E. D. P.; MOREIRA, E. D. S.; PIMENTEL, M. A. G.; ALVARENGA, R. C.; BORGHI, E.; LANA, Â. M. Q. **Avaliação do consórcio eucalipto-milho-capim do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2024. p. 237-277.

ARAÚJO, A. A. M. **Avaliação agrônômica e validação de genes candidatos a marcadores moleculares para tolerância à seca em grão-de-bico**. 2023. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

ARMACOLO, N. M. **Atributos físico-químicos do solo e crescimento de raízes de aveia, braquiária e soja em sistema integração lavoura-pecuária-floresta**. 2024. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade Estadual de Londrina, PR, Brasil, 2024.

AWAZI, N. P. Agroforestry for climate change adaptation, resilience enhancement and vulnerability attenuation in smallholder farming systems in Cameroon. **Journal of Atmospheric Science Research**, v. 5, n. 1, p. 25-33, 2022.

BAKER, T.; RODRIGUES, A. Decision support systems for agriculture: Mitigating risks and losses through early warning technology. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 22, n. 3, p. 456-467, 2024.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; DE MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; DOS SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1-12, 2012.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1-21, 2011.

BANDURSKA, H. Drought stress responses: coping strategy and resistance. **Plants**, v. 11, n. 7, p. 922, 2022.

BANNISTER, M. E.; NAIR, P. K. R. Alley cropping as a sustainable agricultural technology for the hillsides of Haiti: Experience of an agroforestry outreach project. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 5, n. 2, p. 51-59, 1990.

BARBOSA, F. A.; COSTA, P. M.; ANDRADE, V. J.; MAIA FILHO, G. H. B.; MACIEL, I. C. F.; LOPES, S. Q. Avaliação econômica e produtiva dos sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 151-165, 2015.

BARBOSA, M. A. **Plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) transformadas geneticamente com o gene *AtBI-1* submetidas ao déficit hídrico em casa-de-vegetação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

BARMAN, D.; WATTS, A.; PADHAN, B. K.; SATHEE, L. Compatible solutes engineering to balance salt (Na^+) and ROS-induced changes in potassium homeostasis. In: **Response of Field Crops to Abiotic Stress**. CRC Press, 2022. p. 139-152.

BARROS, A. P. **Prospecção de plantas atrativas para inimigos naturais e o seu uso no manejo de insetos fitófagos**. Seropédica: Instituto de agronomia, 2020.

BERWAL, M. K.; RAI, G. K.; HEBBAR, K. B.; PRAKASH, K.; KUMAR, R. Antioxidant defense system in plants against abiotic stress. In: **Abiotic stress tolerance mechanisms in plants**. CRC Press, 2021. p. 175-202.

BOLLINGER, A. Taking stock of the Brazilian zero-till revolution: a review of land-mark research and farmers practices. **Advances Agronomy**, v. 91, p. 47-110, 2006.

BRAGA, I. **Ação de Gaba e Acetilcolina como bioreguladores na fisiologia de soja sob deficiência hídrica**. 2018. 136 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2018.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)**. Instrução Normativa SPA/MAPA nº 2, de 9 de novembro de 2021. Estabelece critérios técnicos para a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2021a, p. 8.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)**. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC): ferramenta para tomada de decisão no campo**. Brasília: MAPA, 2021b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030): visão estratégica para um novo ciclo**/Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. – Brasília: MAPA, 2021, p. 133.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Instrução Normativa nº 2, de 5 de agosto de 2022. Altera a Instrução Normativa nº 1, de 21 de junho de 2022, que estabelece o método para classificação do solo em função da sua Água Disponível (AD) no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2022.

BRENNAN, E. B. Agronomy of strip intercropping broccoli with alyssum for biological control of aphids. **Biological Control**, v. 97, p. 109-119, 2016.

BUAINAIN, A. M.; SILVEIRA, R. L. F. **Manual de Avaliação de Riscos na Agropecuária**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundação Escola Nacional de Seguros - Funenseg, 2017.

BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura pecuária-floresta: a produção sustentável**. 2. ed. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2012. 239 p.

BYBEE-FINLEY, K.; RYAN, M.; MATTHEW R. Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. **Agriculture**, v. 8, n. 6, p. 80, 2018.

CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. Características morfofisiológicas foliares

e estado nutricional de seis espécies lenhosas em função da disponibilidade de água no solo. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 924-936, 2018.

CASAGRANDE, C. P.; MENEZES, G. R. Previsibilidade de preços das principais commodities agrícolas brasileiras. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 20, n. 3, p. 1-17, 2022.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; LLANILO, R.F. **Plantio direto no Sul do Brasil**: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: IAPAR, 2012. 77 p.

CHAMKHI, I.; CHETO, S.; GEISTLINGER, J.; ZEROUAL, Y.; KOUISNI, L.; BARGAZ, A.; GHOUAM, C. Legume-based intercropping systems promote beneficial rhizobacterial community and crop yield under stressing conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 183, p. 114958, 2022.

CHEN, C.; WESTCOTT M.; NEILL, K.; WICHMAN, D.; M. KNOX. Row configuration and nitrogen application for barley-pea intercropping in Montana. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 6, p. 1730-1738, 2004.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; JÚNIOR, G. B. M. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2017.

DAS, A.; MAHANTA, M.; PURKAYASTHA, S.; PRAMANIK, B. Genetically modified crops and crop species adapted to global warming in dry regions. In: **Enhancing Resilience of Dryland Agriculture Under Changing Climate: Interdisciplinary and Convergence Approaches**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 385-409.

DOS-SANTOS, L. F. C.; GARRUÑA, R.; RUÍZ-SÁNCHEZ, E.; ANDUEZA-NOH, R. H.; MIJANGOS-CORTÉS, J. O. Growth, chlorophyll fluorescence, and gas exchange of three maize landraces in southeastern Mexico. **Botanical Sciences**, v. 102, n. 4, p. 1216-1230, 2024.

DUARTE, P. M.; SANTANA, V. T. P.; DALMAS, A. D.; FERRI, I. E. B. Integração Lavoura-Pecuária (ILP): Uma Revisão Literária. **Uniciências**, v. 22, n. 2, p. 106-109, 2018.

EL-SHARKAWY, M. A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, n. 02, p. 162, 2012.

ESMAEILI, N.; SHEN, G.; ZHANG, H. Genetic manipulation for abiotic stress resistance traits in crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1011985, 2022.

EVANGELISTA, B.A.; CAMPOS, L.J.M.; SILVA, F.A.M.; SIMON, J.; RIBEIRO, I.L.; VALE, T.M. Possíveis impactos das mudanças climáticas sobre o zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja no estado do Tocantins. In: COLLICHIO, E.; ROCHA, H.R. (Org.). **Agricultura e mudanças do clima no estado do Tocantins** [livro eletrônico]: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento. Palmas: EdUFT, 2022. p.167-184.

FAHAD, S.; SONMEZ, O.; SAUD, S.; WANG, D.; WU, C.; ADNAN, M.; TURAN, V. (Eds.). **Developing climate-resilient crops: improving global food security and safety**. CRC Press, 2021.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and molecular life sciences**, v. 72, p. 673-689, 2015.

FATHI A.; SHIADE S. R. G.; KIANERSI F.; ALTAF M. A.; AMIRI E.; NABATI E. **Photosynthesis in cereals under drought stress**. in handbook of photosynthesis (4th ed.). Taylor & Francis, 2024.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FOLLI-PEREIRA, M. S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663-1679, 2012.

FONSECA, M. T. **O renascimento dos guardiões de sementes sob a luz da legislação e das políticas públicas: uma análise multidimensional da agrobiodiversidade e da sustentabilidade**. 2024. 115 F. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2024.

FUNG, K. M.; TAI, A. P.; YONG, T.; LIU, X.; LAM, H. M. Co-benefits of intercropping as a sustainable farming method for safeguarding both food security and air quality. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 4, 044011, 2019.

GIANOLI, E.; RAMOS, I.; ALFARO-TAPIA, A.; VALDÉZ, Y.; ECHEGARAY, E. R.; YÁBAR, E. Benefits of a maize–bean–weeds mixed cropping system in Urubamba Valley, Peruvian Andes. **International Journal of Pest Management**, v. 52, n. 4, p. 283-289, 2006.

GONZALEZ GUZMAN, M.; CELLINI, F.; FOTOPOULOS, V.; BALESTRINI, R.; ARBONA, V. New approaches to improve crop tolerance to biotic and abiotic stresses. **Physiologia plantarum**, v. 174, n. 1, p. e13547, 2022.

GRAÇA, Y. R.; FINICELLI, P. P.; OLIVEIRA, R. S.; SANTANA, G. P. Quebrando a cabeça com Lavoisier: uma proposta de aprendizagem de cálculos estequiométricos. **Scientia Amazônia**, v. 5, n. 3, p. 64-68, 2016.

GREGO, C. R.; SPERANZA, E. A.; SANCHES, G. M.; RODRIGUES, C. A. G.; LUCHIARI JÚNIOR, A. Aplicação da agricultura de precisão em cana-de-açúcar. In: DA SILVA, F. C.; FREIRE, F. J. **Inovação e desenvolvimento em cana-de-açúcar: Manejo, nutrição, bioinsumos, recomendação de corretivos e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 2024. p. 413-435.

GUO, C.; ZHU, L.; SUN, H.; HAN, Q.; WANG, S.; ZHU, J.; ZHANG, Y.; ZHANG, K.; BAI, Z.; LI, A.; LIU, L.; LI, C. Evaluation of drought-tolerant varieties based on root system architecture in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 1, p. 127, 2024.

GUO, X.; WANG, Y.; HOU, Y.; ZHOU, Z.; SUN, R.; QIN, T.; WANG K.; FANG L.; WANG Y.; HUANG Z.; XU Y.; CAI, X. Genome-wide dissection of the genetic basis for drought tolerance in *Gossypium hirsutum* L. races. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 876095, 2022.

GUPTA, A.; RICO-MEDINA, A.; CAÑO-DELGADO, A. I. The physiology of plant responses to drought. **Science**, v. 368, n. 6488, p. 266–269, 17 abr. 2020.

GUPTA, R.; SINGH, R. L. Genetically modified organisms (GMOs) and environment. **Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future**, p. 425-465, 2017.

HARRIGAN, G. G.; SORBET, R.; NEMETH, M. A.; PESTER, T. A.; RIORDAN, S. G.; RIDLEY, W. P.; REEVES, W.; MILLER, K. D. The forage and grain of MON 87460, a drought-tolerant corn hybrid, are compositionally equivalent to that of conventional corn. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 57, n. 20, p. 9754-9763, 2009.

HARVEY, C. A. Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 5, p. 62, 2021.

HE, C.; HUANG, J.; WEI, Y.; WANG, H.; ZHOU, B. A first-year maize/cassava relay intercropping system improves soil nutrients and changes the soil microbial community in the symbiotic period. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1087202, 2023.

HELLER, H. S. W.; POLLNOW, G. E. Restauração de áreas de preservação permanente e de reserva legal na agricultura familiar com sistemas agroflorestais: uma potencial opção. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.

HOFFMANN, A. A.; PARSONS, P. A. **Extreme environmental change and evolution**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

HUANG, J.; WU, F.; HU, T.; LIU, L.; WANG, J.; WANG, X.; LIU, J. Interactive effects of drought–flood abrupt alternation on morpho-agronomic and nutrient use traits in rice. **Agronomy**, v. 11, n. 11, p. 2103, 2021.

ILYAS, M.; NISAR, M.; KHAN, N.; HAZRAT, A.; KHAN, A. H.; HAYAT, K.; UL-LAH, A. Drought tolerance strategies in plants: a mechanistic approach. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 926-944, 2021.

JAWORSKI, C. C.; THOMINE, E.; RUSCH, A.; LAVOIR, A. V.; WANG, S.; DES-NEUX, N. Crop diversification to promote arthropod pest management: A review. **Agriculture Communications**, v. 1, n. 1, p. 100004, 2023.

JEZEER, R. E. Effects of shade and input management on economic performance of smallscale Peruvian coffee systems. **Agricultural Systems**, v. 162, p. 179–190, 2018.

JING, X.; ZHOU, M.; WANG, J.; WANG, Y.; WANG, W.; WANG, K. Effect of drought stress on root morphology and leaf photosynthetic characteristics of good taste japonica rice from late stage of panicle differentiation to early stage of grain filling. **Chinese Journal OF Rice Science**, v. 38, n. 1, p. 33, 2024.

KARAM, D. **Sistema antecipe como estratégia de produção de milho segunda safra no show rural Coopavel**. Brasília: EMBRAPA Transferência de tecnologia, automação e agricultura de precisão, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/68070385/sistema-antecipe-como-estrategia-de-producao-de-milho-segunda-safra-esta-no-show-rural-coopavel>. Acesso em: 15 maio 2023.

KHAN, R.; MA, X.; SHAH, S.; WU, X.; SHAHEEN, A.; XIAO, L.; WANG, S. Drought-hardening improves drought tolerance in *Nicotiana tabacum* at physiological, biochemical, and molecular levels. **BMC Plant Biology**, v. 20, p. 1-19, 2020.

KHOKHARVOYTAS, A.; SHAHBAZ, M.; MAQSOOD, M. F.; ZULFIQAR, U.; NAZ, N.; IQBAL, U. Z.; ALSHAQHAA, M. A. Genetic modification strategies for enhancing plant resilience to abiotic stresses in the context of climate change. **Functional & integrative genomics**, v. 23, n. 3, p. 283, 2023.

KUMAR, V. Mixed cropping system along with coconut. **EPRA International Journal of Agriculture and Rural Economic Research**, p. 16-20, 2024.

LAI, H.; GAO, F.; SU, H.; ZHENG, P.; LI, Y.; YAO, H. Nitrogen distribution and soil microbial community characteristics in a legume–cereal intercropping system: A review. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1900, 2022.

LANDAU, E. C.; MOURA, L.; GUIMARÃES, D. P. **Mapeamento das épocas aptas para a semeadura de milho consorciado com braquiária na segunda safra agrícola no Brasil**. Sete lagoas-MG: Embrapa CNPMS, 2013. 15 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/977537>. Acesso em: 28 dez. 2024.

LAVEZZO, A. B.; BOTASSINI, M. P.; RODRIGUES, A. D.; ZERA, F. S. Extrato de alga na germinação e desenvolvimento inicial de capim braquiária decumbens cv. basilk. **Simpósio de Tecnologia Fatec Jaboticabal**, v. 11, n. 1, p. 9-13, 2020.

LI, X. D.; GAO, Y. Q.; WU, W. H.; CHEN, L. M.; WANG, Y. Two calcium-dependent protein kinases enhance maize drought tolerance by activating anion channel ZmSLAC1 in guard cells. **Plant Biotechnology Journal**, v. 20, n. 1, p. 143-157, 2022.

LIMA, J. F.; SOUZA, J. B.; BARBOSA, A. S. Sustentabilidade em sistemas produtivos no município de Serraria, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 1, p. 105-110, 2020.

LIU, J.; LIU, J.; ZHOU, G.; AHMAD, I.; WU, H.; ZHU, Y.; ZHOU, G.; WANG, X.; AHMAD, I.; WU, Y.; WU, H.; DONG, G.; ZHU, Y.; WANG, X.; WU, Y. Association between Reactive Oxygen Species, Transcription Factors, and Candidate Genes in Drought-Resistant Sorghum. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 12, p. 6464, 2024.

MAITRA, S.; HOSSAIN, A.; BRESTIC, M.; SKALICKY, M.; ONDRISIK, P.; GITARI, H.; SAIRAM, M. Intercropping—A low input agricultural strategy for food and environmental security. **Agronomy**, v. 11, n. 2, p. 343, 2021.

MALISZEWSKI, E. **Estudo compara desempenho em três tipos de ILP**, 2021. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/estudo-compara-desempenho-em-tres-tipos-de-ilp448423.html>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MANANDHAR, A.; PICHACO, J.; MCADAM, S. A. M. Absciscic acid increase correlates with the soil water threshold of transpiration decline during drought. **Plant, Cell & Environment**, v. 47, n. 12, p. 5067-5075, 2024.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Tecnologias do ABC+ (SPSabc)**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/abc/tecnologias-do-abc-spsabc>. Acesso em: 18 nov. 2024.

MARCONDES, B. P. **Plantio antecipado de milho safrinha e intercalado nas entrelinhas da soja**. 2022. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Pitágoras UNOPAR, Londrina, 2022.

MARTINEZ, J.; GARCIA, P. Using satellite-based early warning systems for improving crop yield prediction and loss mitigation. **Field Crops Research**, v. 274, p. 107-115, 2024.

MATA, V. C.; FERNANDES, R. O.; JUNIOR, R. T. Descrição dos fatores que compõe a análise econômica de sistemas de integração no estado de Mato Grosso. **FLOVET-Boletim do Grupo de Pesquisa da Flora, Vegetação e Etnobotânica**, v. 2, n. 13, p. e2024008-e2024008, 2024.

MELICHER, P.; DVOŘÁK, P.; ŠAMAJ, J.; TAKÁČ, T. Protein-protein interactions in plant antioxidant defense. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1035573, 2022.

MELLO, A. C. T. D.; CARNEVALLI, R. A.; SHIRATSUCHI, L. S.; PEDREIRA, B. C. E.; LOPES, L. B.; XAVIER, D. B. Improved grazing activity of dairy heifers in shaded tropical grasslands. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, p. e20160316, 2017.

MELOTTO, A. M.; LAURA, V. A.; BUNGENSTAB, D. J.; FERREIRA, A. D. Espécies florestais em sistemas de produção em integração. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D., eds. **ILPF: Inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**, Brasília: Embrapa, 2019. p. 429-454.

MENEZES, E.; FERNANDES, V. J.; DE SOUZA, T. S. **Plantas como fonte de polens para uso no controle biológico conservativo**. Controle alternativo de pragas e doenças: opção ou necessidade? EPAMIG, Belo Horizonte, 2021. p. 79.

MIRANDA, F. R. **Potencial de cafeeiros híbridos de timor para tolerância à deficiência hídrica**, 2023. 33 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2023.

MIRANDA, G. S.; ALMEIDA, V. G. S.; LIMA, R. S.; BRANDÃO, R. S.; SOUZA, C. M.; BARROS, F. V. V.; SILVA, A. S. Uso de leguminosas como componente arbóreo nos sistemas integrados de produção: Panorâmica sobre a sustentabilidade. **Revista Aracê**, v. 6, n. 3, p. 8578-8596, 2024.

MISHRA, R. R. Adoption of genetically modified crops can ensure food security in India. **National Academy Science Letters**, v. 43, n. 2, p. 213-217, 2020.

MOHANAVEL, W.; MUTHURAJAN, R.; MB N.; SWAIN, H. Improving Water Stress Resilient Crop Breeding Using Phenomics and Genomics Information Derived from Sorghum (*Sorghumbicolor* L.). **Madras Agricultural Journal**, v. 107, p. 1-5, 2020.

MONTEIRO, J. D. A.; CUADRA, S. V.; CUNHA, G. R.; BARIONI, L. G.; NAKAI, A. M. Estudo de caso de um Zoneamento Agrícola de Risco da Produtividade Climática (ZARPRO). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 21., 2019, Catalão. **Anais...** Catalão: CBAGRO: UFGO, 2019.

NASCIMENTO, D. B. D.; LOPES, M. L. S.; IZIDRO, J. L. P. S.; BEZERRA, R. C. A.; GOIS, G. C.; AMARAL, T. N. E. D.; DIAS, W. S.; BARROS, M. M. L.; OLIVEIRA, A. R. S.; FARIAS SOBRINHO, J. L.; COÊLHO, J. J. Ciclagem de Nitrogênio, Fósforo e Potássio em Ecossistemas de Pastagem. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, e-76743, 2024.

NDEGWA, J. K.; NJIRU, D. M.; MUCHERU-MUNA, M.; MUGWE, J. N.; GICHIMU, B. M. Integrated Soil Fertility and Water Management Practices for Enhanced Agricultural Productivity. **International Journal of Agronomy**, v. 2023, p. 1-8, 2023.

NERY, L. M.; SILVA, D. C. C.; SABONARO, D. Z. Transferência da tecnologia ILPF como estratégia para a minimização da degradação do solo. In: **ANAIS DO I SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO**, Seropédica, RJ, 2021.

NIERI, E. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; VENTURIN, R. P.; JUNIOR, J. A. P.; MELO, L. A. Silvicultural performance of forest species introduced in integrated livestock forest system in Lavras, MG, Brazil. **Ciência Rural**, v. 47, p. 1-8, 2017.

NUNES, A. L. P. **Qualidade estrutural do solo sob diferentes usos e manejos e relação com atributos microbiológicos e bioquímicos**. 2019. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

OLAOYE, J. O. Challenges of weeding operation in intercropping and mixed cropping systems in Nigeria. **Agrociencia Uruguay**, v. 16, n. 3, p. 144-151, 2012.

OLIVEIRA, A. F.; BLIKSTAD, N. M. D.; VICTORIA, D. D. C.; CUADRA, S. V.; MONTEIRO, J. D. A. Avaliação dos impactos do ZARC ao produtor: o valor da informação para soja em MT. In: **Congresso brasileiro de agrometeorologia**, 22., 2023, Natal. A agrometeorologia e a agropecuária: adaptação às mudanças climáticas: Anais. Natal: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2023. p. 1347-1350.

OLIVEIRA, L. T.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A. Potencial Impacto das Mudanças Climáticas no Zoneamento do Pinus no Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 1, p. 37-49, 2011.

PACHECO, F.; LAZZARINI, L. E.; ALVARENGA, I. Metabolismo relacionado com a fisiologia dos estômatos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 18, n. 36, 2021.

PARSONS, C. K.; DIXON, P. L.; COLBO, M. Relay cropping cauliflower with lettuce as a means to manage first-generation cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae) and minimize cauliflower yield loss. **Journal of economic entomology**, v. 100, n. 3, p. 838-846, 2007.

PEACE, N. Impact of climate change on insects, pest, diseases and animal biodiversity. **Int. J. Environ. Sci. Nat. Resour**, v. 23, n. 5, p. 151-153, 2020.

PEREIRA, A. M. **O método de simular o déficit hídrico altera a classificação de genótipos de eucalipto quanto à tolerância à seca?** 2024, 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2024.

PEREIRA, A.V.; PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; LÉDO, F. J. S. **Catálogo de forrageiras recomendadas pela Embrapa**. Brasília: Embrapa, 2016. 76 p.

PHIRI, A.; DIXON, A.; NJIRA, K. Comparative effects of legume-based intercropping systems involving pigeon pea and cowpea under deep-bed and conventional tillage systems in Malawi. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 7, n. 2, p. e20503, 2024.

PRŽULJ, N.; JANJIĆ, V.; TRKULJA, V. Current situation and challenges in production, use and control of the presence of genetically modified organisms (GMOs) in the world, European Union and Republic of Srpska. **ОДРЖИВИ РАЗВОЈ И УПРАВЉАЊЕ ПРИРОДНИМ РЕСУРСИМА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ**, v. 3, n. 3, 2020.

RIBICHICH, K. F.; CHIOZZA, M.; ÁVALOS-BRITEZ, S.; CABELLO, J. V.; ARCE, A. L.; WATSON, G.; CHAN, R. L. Successful field performance in warm and dry environments of soybean expressing the sunflower transcription factor HB4. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 10, p. 3142-3156, 2020.

RIBONI, M.; GALBIATI, M.; TONELLI, C.; CONTI, L. Gigantea enables drought escape response via abscisic acid-dependent activation of the florigens and suppressor of overexpression of constans1. **Plant Physiology**, v. 162, n. 3, p. 1706-1719, 2013.

RODRIGUES, A. P. D. C.; LAURA, V. A.; PEREIRA, S. R.; DEISS, C. Alelopatia de duas espécies de braquiária em sementes de três espécies de estilosantes. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1758-1763, 2012.

ROSE, A. Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation. In: **Modeling spatial and economic impacts of disasters**. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 13-36.

RUGGIERO, A.; PUNZO, P.; LANDI, S.; COSTA, A.; VAN OOSTEN, M. J.; GRILLO, S. Improving plant water use efficiency through molecular genetics. **Horticulturae**, v. 3, n. 2, p. 31, 2017.

SALLAM, A.; ALQUDAH, A. M.; DAWOOD, M. F. A.; BAENZIGER, P. S.; BÖRNER, A. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology,

breeding and genetics research. **International journal of molecular sciences**, v. 20, n. 13, p. 3137, 2019.

SAMI, A.; XUE, Z.; TAZEIN, S.; ARSHAD, A.; HE ZHU, Z.; PING CHEN, Y.; JIN ZHOU, K. CRISPR–Cas9-based genetic engineering for crop improvement under drought stress. **Bioengineered**, v. 12, n. 1, p. 5814-5829, 2021.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 719-727, 2009.

SANTOS, M. F. A.; LINHARES, P. C. F.; ALVES, L. S.; CARLOS, K. G. S.; SILVA, U. L.; CARDOSO, E. A.; SOUSA, R. P.; ASSIS, J. P. Produtividade do consórcio de rúcula com coentro fertilizado com a mistura de palha de carnaúba (*Copernicia prunifera*) mais esterco bovino: Productivity of the intercropping of arugula with coriander with the mixture of carnauba straw (*Copernicia prunifera*) plus bovine manure. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 6, n. 2, p. 1727-1743, 2023.

SCHEEPENS, J. F.; DENG, Y.; BOSSDORF, O. Phenotypic plasticity in response to temperature fluctuations is genetically variable, and relates to climatic variability of origin, in *Arabidopsis thaliana*. **AoB Plants**, v. 10, n. 4, p. ply043, 2018.

SCHNEIDER, R. J. **Viabilidade do sistema de cultivo intercalar Trigo-Soja e Milho em sucessão**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of experimental botany**, v. 58, n. 2, p. 221-227, 2007.

SILVA, E. E. Manejo orgânico da cultura da couve em rotação com o milho, consorciados com leguminosas para adubação verde intercalar em plantio direto. 2006. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, A. A. **Estudo da resistência à seca em soja: avaliações fisiológicas, metabólicas e moleculares**. 2017. 102 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

SILVA, T. Y. D. R.; GOSMANN, M. C. Avaliação do Programa de Subvenção ao Prêmio de Seguro Agrícola (PSR) no RS na mitigação de perdas causadas por desastres climáticos na cultura da Soja. In: Congresso de Contabilidade da UFRGS (6.: 2024: Porto Alegre, RS). **Anais..** Porto Alegre, RS: PPGCONT/UFRGS, 2024.

SINGH, G. M.; GOLDBERG, S.; SCHAEFER, D.; ZHANG, F.; SHARMA, S.; MISRA, V. K.; XU, J. Biochemical, gas exchange, and chlorophyll fluorescence analysis of maize genotypes under drought stress reveals important insights into their interaction and homeostasis. **Photosynthetica**, v. 60, p. 376-388, 2022.

SINGH, S.; GUPTA, A. Early warning systems and their impact on agricultural risk management: A review. **Agricultural Systems**, v. 205, n. 1, p. 12-29, 2024.

SOTO-GÓMEZ, D.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, P. Sustainable agriculture through perennial grains: Wheat, rice, maize, and other species. A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 325, p. 107747, 2022.

SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; MARZALL, K.; SILVA, W. G. (Ed.). **Estratégia de adaptação à mudança do clima para a agropecuária brasileira**. Brasília: Mapa, 2023. Disponível em: https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/2120/4/PORTUGUÊS_NAP-Brazil-adaptation-report-pt-July03.pdf. Acesso em: 8 dez. 2024.

SZNITOWSKI-ADELICE, A. M.; QUEIROZ, A. A. F. S. L.; PADGETT-ROSAMARIA, R. C. M. L. Produzir com sustentabilidade: um estudo sobre as práticas circulares adotadas em uma propriedade rural em Mato Grosso, Brasil. 2022. In: ENCONTRO DA ANPAD, 46., 2022, on-line. **Anais...** Maringá: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, 2022. p. 20. Disponível em: <http://www.anpad.org.br>. Acesso em: 03 dez. 2022.

TAMBURINI, G.; BOMMARCO, R. T. C.; WANGER, C.; KREMEN, M. G.; VAN DER HEIJDEN, M. LIEBMAN, S.; HALLIN. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. **Science advances**, v. 6, n. 45, p. eaba1715, 2020.

TAN, W.; LI, W.; LI, J.; LIU, D.; XING, W. Drought resistance evaluation of sugar beet germplasms by response of phenotypic indicators. **Plant Signaling & Behavior**, v. 18, n. 1, p. 2192570, 2023.

TESHOME, S. Review on strategy of developing intercropping practices. **Int. J. Curr. Res. Acad. Rev**, v. 7, p. 61-67, 2019.

THARANYA, M.; KHOLOVA, J.; SIVASAKTHI, K.; THIRUNALASUNDARI, T.; VADEZ, V. "Pearl millet," in Water-Conservation Traits to Increase Crop Yields in Water-Deficit Environments: *Case Studies*, ed. Sinclair T. R. **Springer**, p. 73-83, 2017.

THEODORO, J. M. V. **Efeito da farinha de milho germinado (*pennisetum glaucum* (L.) r. br.) nas alterações metabólicas de ratos alimentados com dieta rica em gordura saturada e frutose**. 2021. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

TILMAN, D.; WEDIN, D.; KNOPS, J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. **Nature**, v. 379, p. 718-720, 1996.

TOROMADE, A. S.; SOYOMBO, D. A.; KUPA, E.; IJOMAH, T. I. Reviewing the impact of climate change on global food security: Challenges and solutions. **International Journal of Applied Research in Social Sciences**, v. 6, n. 7, p. 1403-1416, 2024.

TORRENS, J. C. S. Sistemas Agroalimentares: impactos e desafios num cenário post pandemia. **P2P e Inovação**, v. 7, p. 192-211, 2020.

VASSURA, Y.; CASTRO, E. M.; SILVA, O. B.; PEREIRA, M. P.; BRITO, O. G.; ANDRADE JUNIOR, V. C.; PEREIRA, F. J. Anatomia e fisiologia foliar de cultivares de alho relacionadas à tolerância a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 59, n. AB, p. 03368, 2024.

VAZEUX-BLUMENTAL, N.; PAYSANT-LE ROUX, C.; ENJALBERT, J.; FLUTRE, T.; BAULAND, C.; CAIUS, J.; PARNAUDEAU, V.; MULLER, D.; MANICACCI, D.; LE GUILLOUX, M.; LE CADRE, E.; MOENNE-LOCCOZ, Y.; MATHIEU, L.; TE-NAILLON, M. I.; MARMAGNE, A.; TRABAC, T.; LAGARDERE, B.; CARRARETTO, M.; PALAFFRE, C. A multidisciplinary on-farm survey of maize-bean intercropping highlights key considerations for reviving traditional agricultural systems. **bioRxiv**, p. 10-24, 2024.

WANG, C.; GUO, L.; LI, Y.; WANG, Z. Systematic Comparison of C3 and C4 Plants Based on Metabolic Network Analysis. **BMC Systems Biology**, v. 6, n. Suppl 2, p. S9, 2012.

WANG, J.; YIN, M.; DUAN, Y.; WANG, Y.; MA, Y.; WAN, H.; KANG, Y.; QI, G.; JIA, Q. Enhancing water and soil resources utilization via wolfberry–alfalfa intercropping. **Plants**, v. 13, n. 17, p. 2374, 2024.

WANG, T.; CHEN, Q.; GUO, Y.; GAO, W.; ZHANG, H.; LI, D.; CHEN, Q. The Drought Tolerance Function and Transcriptional Regulation of GhAPX7 in *Gossypium hirsutum*. **Plants**, v. 13, n. 15, p. 2032, 2024a.

WU, Y.; YONG, T.; YAN, Y.; YANG, F.; YANG, W.; WANG, X.; PU, T.; GONG, W.; LIU, J. Dynamic of recovery growth of intercropped soybean after maize harvest in maize–soybean relay strip intercropping system. **Food and Energy Security**, v. 11, n. 1, p. e350, 2022.

YAHAYA, M. A.; SHIMELIS, H.; NEBIE, B.; MASHILO, J.; POP, G. Response of african sorghum genotypes for drought tolerance under variable environments. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 557, 2023.

YANG, J.; JIANG, Y.; ZHOU, F.; ZHANG, J.; LUO, H.; TIAN, S. Effects of PEG simulated drought stress on seedling morphology and physiological characteristics of different drought-resistance maize varieties. **Crops**, v. 37, n. 1, p. 82-89, 2021.

YANG, R.; SONG, S.; CHEN, S.; DU, Z.; KONG, J. Adaptive evaluation of green manure rotation for a low fertility farmland system: Impacts on crop yield, soil nutrients, and soil microbial community. **Catena**, v. 222, p. 106873, 2023.

YU, T.; MAHE, L.; LI, Y.; WEI, X.; DENG, X.; ZHANG, D. Benefits of crop rotation on climate resilience and its prospects in China. **Agronomy**, v. 12, n. 2, p. 436, 2022.

ZAIB, M.; ZEESHAN, A.; ASLAM, S.; BANO, S.; ILYAS, A.; ABBAS, Z.; MUMTAZ, S. Drought Stress and Plants Production: A Review with Future Prospects. **International Journal of Scientific Research and Engineering Development**, v. 6, n. 04, p. 1278-1293, 2023.

ZHOU, Y.; KHAN, Q.; CHEN, C.; MCPHEE, K.; FRANCK, W. L.; FRANCK, S.; MCVAY, K.; CRUTCHER, F. K. Intercropping chickpea-flax for yield and disease management. **Agronomy Journal**, v. 115, n. 2, p. 726-743, 2023.