

**AGROTEC**Revista Agropecuária Técnica
Since 1981

ISSN impresso 0100-7467 - ISSN online 2525-8990

AGRARIAN SCIENCE AND TECHNOLOGY

Arroz vermelho no semiárido: desafios hídricos, adubação orgânica e qualidade de sementes

Shara Borges¹, Pedro Henrique Menezes^{2,3}, Normando Ribeiro-Filho¹, Márcia Roseane Targino de Oliveira¹, Vânia da Silva Fraga¹

Resumo

O arroz vermelho (*Oryza sativa* L.) representa um patrimônio agrícola, histórico e cultural do Nordeste brasileiro. O presente trabalho apresenta uma revisão sobre os efeitos da adubação orgânica e da deficiência hídrica no cultivo de arroz vermelho (*Oryza sativa* L.), com ênfase no desempenho fisiológico, na produtividade e na qualidade de sementes. Este cereal possui grande relevância socioeconômica no Nordeste brasileiro, especialmente na agricultura familiar, onde o manejo tradicional ainda predomina e a produção é fortemente dependente das condições climáticas. A adubação orgânica, sobretudo com esterco bovino, tem se mostrado alternativa sustentável para melhorar a fertilidade do solo, disponibilizar nutrientes de forma gradual e favorecer a qualidade fisiológica das sementes. Por outro lado, a deficiência hídrica, especialmente durante a fase reprodutiva, compromete o rendimento e reduz o vigor e a germinação. A análise da literatura evidencia que a integração entre estratégias de adubação orgânica e práticas de manejo hídrico adequadas é essencial para garantir maior resiliência ao cultivo em ambientes semiáridos. Apesar dos avanços, ainda há escassez de informações sobre doses ideais de adubos orgânicos, respostas varietais ao déficit hídrico e estratégias de conservação da variabilidade genética. Nesse contexto, estudos mais aprofundados são necessários para orientar recomendações práticas que fortaleçam a sustentabilidade e a competitividade do arroz vermelho.

Palavras-chave: Semiárido, Sustentabilidade, *Oryza sativa* L., Fertilidade do solo, Germinação

Abstract

Red rice (*Oryza sativa* L.) represents an agricultural, historical and cultural heritage of Northeastern Brazil. This work presents a review of the effects of organic fertilisation and water deficit on red rice cultivation, with emphasis on physiological performance, productivity and seed quality. This cereal has great socio-economic importance in Northeastern Brazil, particularly within family farming systems, where traditional management still predominates and production is strongly dependent on climatic conditions. Organic fertilisation, especially with cattle manure, has proved to be a sustainable alternative to improve soil fertility, provide nutrients gradually and enhance seed physiological quality. Conversely, water deficit, especially during the reproductive phase, compromises yield and reduces vigour and germination. The literature analysis shows that integrating organic fertilisation strategies with adequate water management practices is essential to ensure greater resilience of cultivation in semi-arid environments. Despite the advances, there is still a scarcity of information on optimal doses of organic fertilisers, varietal responses to water stress and strategies for conserving genetic variability. In this context, further studies are needed to provide practical recommendations that strengthen the sustainability and competitiveness of red rice.

Keywords: Semi-arid, Sustainability, *Oryza sativa* L., Soil fertility, Germination

Submetido em 22/01/2022;

¹ Departamento de Solos e Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba

² Instituto Tecnológico Educacional do Amazonas, Prédio CCTI - Avenida Glaycon de Paiva, nº 1820, Bairro Mecejana, CEP: 69.304-560, Boa Vista, Roraima

³ Sincro Ambiental e Topografia, R. Srg. Azevedo, 56 B - Aeroporto, Boa Vista - RR, 69310-128

Email: normandofilho@cca.ufpb.br * (Autor correspondente)

1. Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais relevantes para a segurança alimentar global, sendo consumido por mais da metade da população mundial (Kassam, 2003). No Brasil, o arroz vermelho ocupa papel singular, representando não apenas um alimento básico, mas também um patrimônio agrícola e cultural associado à agricultura familiar no Semiárido nordestino (Pereira, 2004; Borges et al., 2012). Essa região caracteriza-se por solos de baixa fertilidade, elevada irregularidade pluviométrica e limitações tecnológicas, fatores que condicionam o desempenho agrônomo da cultura. Nesse cenário, a adoção de práticas sustentáveis de manejo é essencial para conciliar produtividade, conservação de recursos naturais e preservação da diversidade genética. Embora cultivado predominantemente em pequena escala, o arroz vermelho contribui de forma estratégica para a segurança alimentar regional e a manutenção de práticas tradicionais. Assim, compreender sua dinâmica produtiva no Semiárido constitui passo decisivo para consolidar sua relevância socioeconômica e projetar estratégias de manejo mais resilientes às mudanças climáticas.

A adubação orgânica desempenha papel determinante na melhoria da fertilidade dos solos, influenciando de maneira direta a produtividade e a qualidade fisiológica das sementes. A adequada disponibilidade de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, é indispensável ao metabolismo reprodutivo, à formação de reservas e ao vigor germinativo (Raj et al., 1996; Toledo; Marcos Filho, 1997; Quadros et al., 2012). Entretanto, a deficiência hídrica constitui um dos estresses abióticos mais limitantes à rizicultura no Semiárido, afetando negativamente a germinação e acelerando a deterioração fisiológica das sementes (Farooq et al., 2009). Estudos mostram que a interação entre baixa disponibilidade hídrica e restrições nutricionais resulta em perdas expressivas de qualidade, evidenciadas por menor taxa de germinação, maior condutividade elétrica e maior lixiviação de potássio (Keigley e Mullen, 1986). Dessa forma, investigar os efeitos combinados do manejo nutricional e da disponibilidade de água é fundamental para assegurar a viabilidade fisiológica das sementes de arroz vermelho em ambientes semiáridos.

A produção de arroz vermelho no Nordeste brasileiro ultrapassa sua função como alimento, configurando-se como vetor de preservação cultural, geração de renda e fortalecimento da agricultura familiar (Pereira, 2004; Pereira et al.,

2008). No entanto, as restrições impostas pela irregularidade climática, pela predominância de Neossolos e pela baixa utilização de insumos modernos limitam a estabilidade e a competitividade da produção. Nesse contexto, a adoção da adubação orgânica surge como alternativa sustentável para aprimorar a fertilidade do solo, reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos e preservar a qualidade fisiológica das sementes. Paralelamente, estratégias voltadas à mitigação dos efeitos da deficiência hídrica tornam-se prioritárias para garantir resiliência produtiva. Assim, o presente estudo tem como objetivo revisar os efeitos da adubação orgânica e do déficit hídrico sobre o desempenho fisiológico, a produtividade e a qualidade de sementes de arroz vermelho, destacando sua importância estratégica para a sustentabilidade agrícola e a segurança alimentar do Semiárido brasileiro.

2. Panorama da cultura do arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais consumidos globalmente, desempenhando papel central na segurança alimentar, já que mais da metade da população mundial o utiliza como alimento básico (Kassam, 2003). A produção concentra-se em países de baixa renda, com dez nações — Índia, Tailândia, Vietnã, Paquistão, Estados Unidos, Camboja, China, Birmânia, Brasil e Uruguai — responsáveis por 92% do comércio internacional de arroz (USDA, 2023). Esse cenário evidencia a vulnerabilidade do mercado global, em que problemas em qualquer grande produtor podem impactar fortemente a oferta e os preços, afetando a segurança alimentar mundial (Durand-Morat et al., 2018). Além de sua função alimentar, o arroz possui importância econômica e social estratégica, contribuindo para a geração de emprego, renda e desenvolvimento rural. Portanto, a rizicultura assume um papel central não apenas na nutrição, mas também na estabilidade econômica de regiões dependentes dessa cultura.

No Brasil, a produção de arroz é marcada pela diversidade de ecossistemas e práticas de cultivo, abrangendo terras altas e várzeas. As terras altas correspondem a 49% da área cultivada, mas representam apenas 21% da produção nacional, com produtividade média de 1800 kg ha⁻¹ (Guimarães et al., 2006). Essa baixa produtividade decorre principalmente do déficit hídrico provocado pela irregularidade das chuvas e do limitado investimento em corretivos e fertilizantes, devido aos riscos associados à cultura. As cultivares tradicionais, mais tolerantes à seca, são recomendadas para áreas sem

irrigação, enquanto as modernas apresentam maior potencial produtivo, folhas eretas e baixo porte, mas baixa tolerância ao déficit hídrico, sendo indicadas para sistemas irrigados ou com regime pluviométrico regular (Bresseghele e Stone, 1998; Castro; Morais,

1998; Mauad et al., 2011). Assim, a produção nacional reflete tanto desafios climáticos quanto oportunidades para a adoção de tecnologias adaptadas a cada ecossistema.

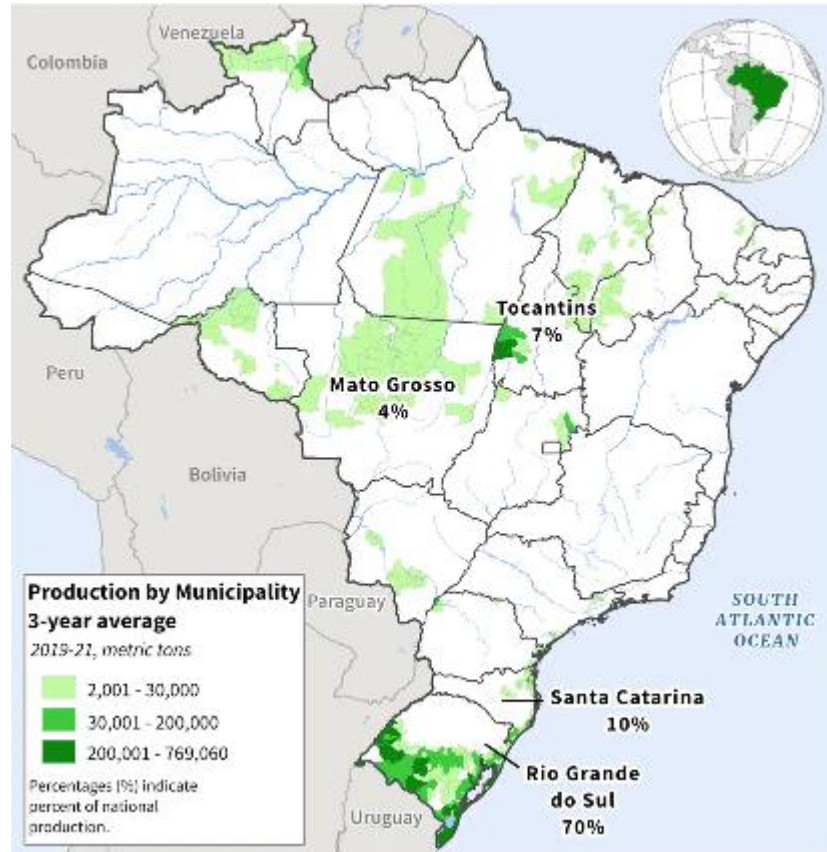


Figura 1: Produção de Brasileira de arroz (USDA, 2023)

Entre os tipos de arroz cultivados no Brasil, os arrozes pigmentados, especialmente o arroz vermelho, têm ganhado destaque. Esses grãos, juntamente com os pretos e roxos, apresentam compostos bioativos como fenólicos, flavonoides e antocianinas, que possuem forte atividade antioxidante, contribuindo para a neutralização de radicais livres e redução do estresse oxidativo (Santos et al., 2004). Historicamente, o arroz vermelho foi considerado uma praga agrícola nos Estados Unidos, sendo classificado como a principal planta daninha nas áreas de produção no início do século XX (Durand-Morat et al., 2018; Santos et al., 2004). Atualmente, essa percepção mudou, e o arroz vermelho é valorizado como alimento funcional, sem glúten, e com potencial para diversificação alimentar e agregação de valor ao mercado nacional. Dessa forma, o cultivo de arrozes pigmentados reflete uma tendência global de valorização de grãos nutritivos, funcionais e sustentáveis.

A produção de arroz no Brasil também apresenta diferenças marcantes em termos de sistemas de cultivo, destacando-se o arroz irrigado e o de sequeiro. O arroz irrigado é predominante nos estados do Sul, especialmente Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e permite maior controle de pragas, estabilidade de produtividade e melhor fertilidade do solo. Em contraste, o arroz de sequeiro, mais comum no Centro-Oeste, depende exclusivamente das chuvas, com menor custo de implantação, mas menor produtividade e maior vulnerabilidade às variações climáticas. Além disso, a produção de arroz orgânico vem crescendo, impulsionada por práticas sustentáveis, como adubação verde, rotação de culturas e controle biológico de pragas, refletindo demanda por alimentos funcionais e ambientalmente responsáveis (Mattos; Martins, 2011). Assim, a diversidade de cultivares e métodos de produção evidencia tanto a complexidade quanto o potencial da rizicultura brasileira para atender a mercados

internos e externos, promovendo sustentabilidade, inovação e segurança alimentar.

3. Produção do arroz vermelho na Paraíba

A produção de arroz vermelho na Paraíba destaca-se nacionalmente, concentrando aproximadamente 60% dos 10 mil hectares cultivados no Brasil, principalmente nas regiões do Vale do Rio Piancó e da várzea do Rio do Peixe (IBGE, 2022). Essas áreas, apesar de situadas em zona semiárida, possuem solos férteis e acumulam naturalmente água suficiente para o cultivo do arroz, condição essencial para esta cultura (Boêno, 2008). O Vale do Piancó, composto por 20 municípios, caracteriza-se pelo clima tropical semiárido, baixa pluviosidade concentrada entre março e maio, vegetação típica da Caatinga xerófila e relevo de baixa altitude com intenso desgaste erosivo. A agropecuária de subsistência predomina, sustentando a economia local (Sobrinho, 2018). Essas características ambientais e sociais moldam o sistema produtivo do arroz vermelho, refletindo desafio e adaptabilidade dos agricultores à realidade regional.

No Vale do Piancó, o arroz vermelho é cultivado há mais de 300 anos, principalmente com as variedades tradicionais “Vermelho” (arroz de Veneza) e Cáqui, que possuem baixa produtividade e grãos tipo cateto. Já na região do Rio do Peixe, variedades melhoradas geneticamente, como MNAPB0404 e MNAPB0708, são cultivadas em sistemas de sequeiro e irrigado (Ervolino, 2013). O regime de sequeiro, predominante pela escassez hídrica, exige aproveitamento da fertilidade natural de solos geralmente erodidos e pobres em nutrientes, embora a irrigação seja utilizada em períodos de seca (Borges et al., 2012; Pereira, 2004; Yoshida, 1981). A produção no Vale do Piancó é artesanal, com uso limitado de tecnologia, manejo por tração animal, e mão de obra familiar, refletindo o perfil socioeconômico dos pequenos produtores. A variabilidade das chuvas influencia diretamente a produção, evidenciando a forte dependência dos recursos naturais para a manutenção dessa cultura tradicional.

A comercialização do arroz vermelho na Paraíba é realizada principalmente por agroindústrias artesanais, chamadas localmente de despoldadeiras, que empregam equipamentos antigos, secagem natural em terreiros e armazenagem doméstica (Borges et al., 2012). O cultivo é majoritariamente para consumo próprio, sendo estimado que 70% da produção abastece as famílias produtoras e o restante é comercializado em atacado e varejo. Empresas empacotadoras atuam como

intermediárias, comprando em grandes volumes para redistribuir em embalagens menores no mercado local e regional, tornando o processo pouco lucrativo para os agricultores. O arroz vermelho da Paraíba, apesar de sua produção artesanal, valoriza-se por ser um produto ecologicamente limpo, sem uso de agrotóxicos, e parte da produção tem potencial de exportação, sendo reconhecido pelo movimento slow-food, que valoriza alimentos tradicionais e sustentáveis.

4. Importância social e econômica do arroz vermelho

O arroz vermelho desempenha papel central na economia e na alimentação do Nordeste brasileiro, sendo cultivado por pequenos agricultores que preservam sementes tradicionais, como as variedades Cáqui, Maranhão e Amarelão, com elevada adaptabilidade e diversidade genética (Porto et al., 2007; Borges et al., 2012). A cultura ocorre em áreas irrigadas por inundação ou em várzeas úmidas, dependentes das chuvas (Pereira et al., 2007). Historicamente, o arroz vermelho foi a cultivar mais antiga plantada no Brasil, sendo posteriormente proibido no Maranhão em 1772, quando foi introduzido o arroz branco “da Carolina” (Pereira, 2002). No entanto, o arroz vermelho espontâneo, considerado planta invasora, ainda interfere nas lavouras de arroz branco, afetando a qualidade final do produto (Pereira, 2004). No Vale do Piancó, Paraíba, a produção persiste, valorizando as sementes tradicionais e fortalecendo práticas culturais e econômicas locais, o que evidencia sua importância social, histórica e econômica para comunidades rurais.

Dados nacionais sobre produção de arroz mostram redução significativa entre 2021 e 2022, refletindo impactos climáticos e produtivos sobre a cultura. Conforme a Tabela 1 (IBGE, 2022), a área plantada caiu de 1.690.527 ha para 1.657.416 ha ($\approx 2\%$), e a área colhida diminuiu de 1.689.190 ha para 1.623.420 ha ($\approx 4\%$). A produção total apresentou queda de 11.660.605 t para 10.776.268 t, correspondendo a 7,6% de redução, enquanto o rendimento médio por hectare passou de 6.903 kg ha⁻¹ para 6.638 kg ha⁻¹ ($\approx 3,8\%$). Esses números indicam que a combinação de menor disponibilidade de área cultivada e fatores ambientais, como déficit hídrico, contribuiu para a redução da produtividade nacional. A Tabela 1 pode ser destacada no texto com cores ou gráficos de barras comparando os dois anos, evidenciando claramente a queda em área, produção e rendimento.

A redução na produção e produtividade do arroz brasileiro tem implicações econômicas e sociais diretas. A diminuição da oferta interna pode pressionar os preços do alimento básico, afetando consumidores e mercado regional, enquanto limitações na produtividade podem restringir a capacidade exportadora do país. A Tabela 1 evidencia que, mesmo em anos consecutivos, pequenas variações climáticas e produtivas têm impacto significativo sobre a produção total, reforçando a necessidade de estratégias adaptativas. No caso do arroz vermelho, a produção na Paraíba continua sendo crucial para a preservação genética, geração de renda e abastecimento local (Pereira, 2004; Borges et al., 2012). Assim, políticas públicas voltadas para segurança hídrica, assistência técnica, incentivos à agricultura familiar e preservação de variedades tradicionais são essenciais para garantir estabilidade produtiva e fortalecer o papel do arroz vermelho na dieta regional e na economia nordestina.

Tabela 1 - Lavoura com arroz no Brasil, 2021-2022.

	2021	2022
Área Plantada (ha)	1.690.527	1.657.416
Área Colhida (ha)	1 689 190	1.623.420
Produção (t)	11.660.605	10.776.268
Rendimento (kg/ha)	6.903	6.638

Fonte: IBGE, Produção Agrícola Brasileira, 2022.

5. Características agronômicas do arroz vermelho

O gênero *Oryza* L., pertencente à família Poaceae, compreende aproximadamente 25 espécies, das quais 23 são silvestres e somente duas são cultivadas: *Oryza sativa* L. e *Oryza glaberrima* Steud (Miyabayashi et al., 2007). No Brasil, a única espécie encontrada é a *Oryza sativa* L., caracterizada por apresentar ramificações secundárias nas panículas, espiguetas persistentes no pedicelo e lígula com comprimento de até 10 mm. Além disso, essa espécie pode apresentar diferentes colorações no pericarpo, sendo comum tanto o arroz branco quanto o vermelho (Pereira, 2004). Essas características botânicas fundamentam o estudo das variedades cultivadas no país e ajudam a diferenciar o arroz vermelho das outras espécies, estabelecendo parâmetros essenciais para a pesquisa agrônoma regional.

No Brasil, as pesquisas voltadas ao arroz vermelho começaram efetivamente na década de 1990. Estudos identificaram ampla variabilidade genética

nas variedades cultivadas no Nordeste, que geralmente apresentam arquitetura tradicional, com porte alto, folhas longas e pilosas, além de alta suscetibilidade ao acamamento e baixo potencial produtivo (Pereira et al., 2009). Contudo, foram encontrados casos excepcionais de variedades com características modernas, que exibem porte baixo, folhas curtas e eretas, menor acamamento e maior produtividade, sugerindo um possível cruzamento natural com variedades de arroz branco. Esses achados são importantes para compreender as diferenças morfológicas e produtivas dentro do arroz vermelho cultivado na região.

Tabela 2 - Produtividade de grãos de arroz vermelho, variedade PB02, em comparação com outras 15 variedades de arroz branco, em condições de irrigação por inundação.

Variedade	Floração (dia)	Altura (cm)	Produtividade de grãos (Kg/ha)
CNA 8573	81	106	9.090
CNA 8575	81	104	8.825
BRS Formoso	83	96	8.816
São Francisco	79	103	8.812
Metica 1	82	104	8.751
CNA 8574	81	104	8.681
CNA 7978	79	102	8.461
CNA 8720	82	111	8.423
CNA 8728	80	99	8.356
Diamante	84	98	8.322
BRS Jaburu	82	100	8.314
BRS Biguá	79	111	8.272
CNA 8730	80	100	8.257
CNAi 9025	83	110	7.825
PB02	80	102	7.799
SCS-BRS 111	70	111	6.213
Média Geral	79	104	8.183

Fonte: Pereira, 2004.

As variedades tradicionais de arroz vermelho podem atingir até 1,85 m de altura, enquanto as de arquitetura moderna têm em torno de 1 m (Pereira, 2004). A cultura do arroz branco mostra que a redução da altura da planta está associada ao aumento da produtividade, devido à maior eficiência na produção e distribuição de grãos, mesmo com menor produção de matéria seca na parte aérea (Pereira, 2004; Yoshida, 1981). Em estudo comparativo, Pereira (2004) verificou que uma variedade moderna de arroz vermelho tem potencial produtivo semelhante ao arroz branco (Tabela 2). Por outro lado, Yoshida (1981) observou que as variedades tradicionais têm maior

capacidade fotossintética e acumulam mais carboidratos, mas apresentam menor eficiência na translocação para espiguetas, resultando em menor produtividade comparada às variedades modernas. As características agrônomicas indicam as necessidades de adaptação e as necessidades hídricas das variedades de arroz vermelho.

5.1. Relações hídricas na planta de arroz

As relações hídricas na cultura do arroz são fundamentais para seu desenvolvimento, especialmente porque o consumo de água varia ao longo das fases de crescimento da planta. A etapa vegetativa requer cerca de 30% da água, enquanto a fase reprodutiva demanda 55%, e a maturação, 15% do consumo total (Fageria, 1980). A deficiência hídrica impacta negativamente em todas as fases, mas é na fase reprodutiva — especialmente nos 15 dias anteriores ao florescimento — que seu efeito é mais severo, podendo causar esterilidade e má formação das espiguetas, o que reduz significativamente a produtividade. Assim, a disponibilidade hídrica durante esse período crítico torna-se essencial não só para o desenvolvimento das estruturas reprodutivas, mas também para garantir a qualidade e quantidade da produção final de grãos, evidenciando a necessidade de manejo eficiente da irrigação.

A sensibilidade da planta de arroz à falta de água varia conforme o momento e a duração da deficiência, além da tolerância de cada cultivar. Durante a fase reprodutiva, que vai da diferenciação do primórdio da panícula até o florescimento, a deficiência hídrica pode impedir a transformação da gema vegetativa em reprodutiva, reduzindo o número de panículas e, conseqüentemente, de colmos férteis (Crusciol et al., 2003). Ainda, a deficiência hídrica prolongada nos primeiros vinte dias dessa fase pode diminuir o número total de espiguetas por panícula, afetando a formação dos grãos (Crusciol et al., 2003; Rodrigues et al., 2004). Esse impacto ressalta a importância do manejo hídrico durante essa janela para assegurar o desenvolvimento adequado das estruturas reprodutivas e maximizar a produtividade.

Durante a maturação, a falta de água afeta principalmente a massa dos grãos, um caráter varietal estável que depende do desenvolvimento da casca e do cáriopse em duas fases de sete dias após o florescimento (Yoshida, 1981; Silva, 2012). Deficiências hídricas nessa fase inicial do desenvolvimento também retardam o florescimento, principalmente nas variedades mais suscetíveis

(Rodrigues et al., 2004; Crusciol et al., 2006; Guimarães et al., 2006). Além disso, condições ambientais como temperaturas acima de 35 °C, combinadas com baixa disponibilidade hídrica, podem intensificar a esterilidade das espiguetas, prejudicando a produção (Steinmetz et al., 2006). Esses fatores ressaltam a complexidade das relações hídricas e ambientais (incluindo o solo) na cultura do arroz e a necessidade de práticas agrícolas para mitigar os efeitos da seca e do estresse térmico.

5.2. Importância dos Neossolos para a rizicultura

A classe dos Neossolos é composta por solos formados por material mineral ou orgânico muito pouco espesso, que não apresentam modificações significativas do material original devido à baixa intensidade dos processos pedogenéticos. Essa característica pode ser atribuída à resistência do material de origem ao intemperismo, sua composição químico-mineralógica ou a fatores ambientais como clima, relevo e tempo, que limitam a evolução do solo (EMBRAPA, 2006). Historicamente, esses solos incluíam Litossolos, Solos Litólicos, Regossolos, Solos Aluviais e Areias Quartzozas. Um exemplo típico desse solo ocorre no município de Santana dos Garrotes, Paraíba, onde predominam solos classificados anteriormente como Regossolos. A baixa evolução pedogenética dos Neossolos resulta em uma estrutura de solo que mantém características próximas ao material de origem, o que influencia diretamente seu manejo e uso agrícola.

Os Neossolos Flúvicos encontrados em Santana dos Garrotes são solos minerais não hidromórficos originados de sedimentos aluviais recentes do período Quaternário. Eles se caracterizam pela sobreposição de camadas sedimentares distintas, com espessuras e granulometrias variadas, reflexo da diversidade dos materiais depositados e das condições de formação. Essa estrutura em camadas pode ser percebida claramente, embora camadas muito espessas dificultem essa distinção. Na Zona da Mata de Pernambuco, esses solos podem apresentar variações em fertilidade e acidez, demonstrando um espectro de propriedades físicas, químicas e morfológicas influenciadas pela diversidade do material original e baixo desenvolvimento pedogenético (Silva et al., 2011). Tais características demandam manejo específico para otimizar seu uso agrícola.

No Rio Grande do Sul, a produção de arroz concentra-se especialmente nas terras baixas da metade sul do estado, onde Planossolos e Gleissolos

dominam cerca de 56% das áreas de várzea cultiváveis (Pinto et al., 2004). Em altitudes mais elevadas, Chernossolos e Neossolos também são comuns, representando 16% e 11% das áreas, respectivamente. Embora os Neossolos ocupem menor extensão territorial, sua participação é relevante para a rizicultura devido à sua elevada fertilidade química natural, o que resulta em produtividades superiores em comparação com outras ordens de solo da região (Silva et al., 2011). Assim, os Neossolos são estratégicos para o cultivo do arroz, associando as condições edafoclimáticas.

5.3. Adubação orgânica

O esterco é o adubo orgânico de origem animal mais conhecido, sendo formado por excrementos sólidos e líquidos dos animais, frequentemente misturados a restos vegetais. Sua composição é bastante variável, mas geralmente constitui uma boa fonte de nutrientes para as plantas, com fósforo e potássio disponíveis rapidamente, enquanto o nitrogênio depende da degradação dos compostos orgânicos para se tornar acessível (Kiehl, 1985). Apesar disso, a liberação dos nutrientes pelo esterco geralmente não supre completamente as necessidades das plantas, a menos que seja aplicado em grandes quantidades. Além da contribuição nutricional, o esterco e outros resíduos orgânicos melhoram as propriedades físicas do solo, aumentando a retenção de água e a capacidade de troca catiônica (CTC). Diferentemente do material cru, os compostos orgânicos estabilizados apresentam dinâmica diferenciada no solo, alcançando resultados distintos na fertilidade e produtividade das culturas (Villas Bôas et al., 2004).

Na cultura do arroz, incluindo o arroz vermelho, o nitrogênio e o fósforo são os elementos que mais limitam o desenvolvimento das plantas. O nitrogênio exerce papel fundamental ao estimular o perfilhamento, o número de panículas, espiguetas por panícula, peso e teor proteico dos grãos, enquanto o fósforo promove o crescimento radicular, o perfilhamento e a formação dos grãos (Pereira, 2004). No Japão, a aplicação de 10 t ha⁻¹ de esterco de curral em arroz branco de sequeiro aumentou significativamente a produtividade e o número de espiguetas por panícula. Além disso, a adubação orgânica revelou efeito positivo na resistência das plantas à brusone, atribuída ao aumento dos teores de silício e potássio (Guimarães e Prabhu, 2002). Esses resultados destacam a importância do uso de esterco para melhorar a qualidade e a produtividade da cultura.

Estudos realizados no sul da China, durante seis anos, demonstraram que a aplicação de esterco suíno aumentou a produtividade do arroz branco, melhorando a eficiência do uso do nitrogênio e reduzindo os riscos de poluição ambiental. A produção aumentou 68% em relação ao tratamento controle que utilizou apenas fosfato e potássio, indicando que o esterco é uma prática eficaz para aumentar a produtividade e proteger o meio ambiente (Gang et al., 2008). No Brasil, especialmente na região sul de Santa Catarina, o uso da cama de aviário vem ganhando destaque como adubo orgânico devido à sua disponibilidade (EPAGRI, 2022). Contudo, para o arroz vermelho, ainda não há estudos científicos específicos sobre a melhor adubação mineral ou orgânica, de modo que as recomendações para arroz branco são comumente aplicadas.

6. Manifestações metabólicas da deterioração das sementes

A produção de arroz é fortemente afetada por fatores ambientais e biológicos, entre os quais se destacam temperatura, disponibilidade de água, radiação solar e nutrientes. Temperaturas acima de 35°C podem causar esterilidade nas espiguetas, principalmente quando as plantas enfrentam restrição hídrica, o que compromete a produtividade (Steinmetz et al., 2006). Além das condições externas, a qualidade das sementes é crucial para o sucesso da cultura. O processo de deterioração envolve transformações degenerativas que afetam as propriedades bioquímicas, físicas, fisiológicas e genéticas da semente, conduzindo progressivamente à perda da viabilidade. Esse processo pode iniciar logo após a maturidade fisiológica e se estender até a morte da semente, tendo a diminuição da capacidade germinativa como uma das consequências mais evidentes (Juarch, 2004). Portanto, o manejo adequado das condições ambientais e do armazenamento é essencial para preservar a qualidade das sementes e garantir boa produção.

Durante o armazenamento, ocorrem alterações fisiológicas e bioquímicas que comprometem a qualidade das sementes de arroz. Entre essas mudanças estão a indução ou superação da dormência, o surgimento de plântulas anormais, a perda de vigor e a redução das atividades enzimáticas, além da deterioração da integridade das membranas celulares e autooxidação de lipídeos. Tais processos são fortemente influenciados pelas condições edafoclimáticas (Juarch, 2004). A deterioração inicia-se com a desestruturação das

membranas celulares, causada pela ação de radicais livres (Carvalho e Silva, 1994), sendo que a máxima organização dessas membranas ocorre na maturidade fisiológica das sementes (Nascimento et al., 2006). À medida que as sementes perdem água, a desorganização das membranas se intensifica, o que resulta na redução do vigor e da capacidade germinativa (Vidigal et al., 2009). Assim, controlar as condições de armazenamento é fundamental para preservar a qualidade das sementes e garantir seu desempenho na produção.

7. Qualidade fisiológica das sementes

A qualidade da semente é avaliada por atributos fisiológicos, genéticos, físicos e sanitários, sendo a colheita no ponto de maturidade fisiológica essencial para garantir sementes de boa qualidade. Durante a maturação do arroz, ocorrem três estádios principais: o estádio leitoso, em que a cariopse é verde e rica em água; o estádio de massa, no qual a cariopse ganha consistência e se aproxima do desenvolvimento total; e o estádio de maturação propriamente dito, caracterizado pelo endosperma completamente desenvolvido e de cor branca, sem vestígios verdes (Infeld et al., 1987; Saravia et al., 2007). O conhecimento dessas fases é fundamental para o manejo adequado da colheita, pois sementes colhidas fora do ponto ideal podem apresentar perdas na qualidade, comprometendo a germinação e o estabelecimento inicial da cultura.

A maturação do arroz se dá do ápice para a base da panícula, iniciando-se pela panícula do colmo principal e seguindo para as demais, em afilhos sucessivos. Condições ambientais influenciam a qualidade física dos grãos: maturação rápida em calor seco tende a resultar em grãos opacos, enquanto temperaturas baixas favorecem a formação de grãos translúcidos e resistentes à quebra. Contudo, temperaturas baixas no início da fase de enchimento podem causar aumento de grãos gessados, prejudicando a qualidade (Infeld et al., 1987). Além disso, cultivares irrigadas são mais suscetíveis ao desgrane e fissuras conforme a redução do teor de água das sementes. Armazenamentos inadequados, como a permanência prolongada sem ventilação, também reduzem a qualidade e a conservabilidade das sementes (Elias, 1998; Saravia et al., 2007).

A qualidade fisiológica das sementes impacta diretamente o rendimento da cultura, pois determina a população inicial de plantas. No Rio Grande do Sul, normas estabelecem germinação mínima de 80% para sementes de arroz. Além da germinação,

o vigor é um atributo essencial ao rápido e uniforme estabelecimento das plantas, não detectável pelo teste de germinação comum (Barbieri et al., 2012). A viabilidade, medida pelo teste de germinação, indica a capacidade da semente em iniciar o crescimento do embrião, enquanto o vigor reflete o potencial fisiológico, influenciado pelo ambiente e manejo pré e pós-colheita (Popinigis, 1977; Vieira e Carvalho, 1994). Com o tempo e dependendo das condições de armazenamento, a qualidade das sementes declina devido à deterioração progressiva, resultando na perda do poder germinativo (Saravia et al., 2007).

7.1. Germinação

A germinação é o processo que se inicia com a retomada do crescimento do embrião nas sementes, culminando na formação de uma planta capaz de se nutrir e se desenvolver de forma independente (Hoppe, 2004). A avaliação da germinação é realizada pelo teste de germinação em laboratório, sob condições controladas, utilizando métodos padronizados que garantem a qualidade das sementes para a semeadura e a comparação entre lotes, servindo como base para sua comercialização (Figliolia et al., 1993). O substrato utilizado deve fornecer um equilíbrio ideal entre umidade e aeração, evitando uma película aquosa que impeça a penetração de oxigênio e favoreça a proliferação de patógenos (Popinigis, 1977). A escolha do substrato precisa considerar fatores como o tamanho da semente, suas exigências relativas à luz e à umidade, além da facilidade de manuseio durante a execução do experimento e avaliação das plântulas (Brasil, 2009). Assim, o substrato é essencial para garantir resultados confiáveis e representativos nos testes de germinação.

O potencial fisiológico das sementes é medido rotineiramente pelo teste de germinação sob condições ideais de temperatura, umidade e substrato, visando maximizar a germinação e garantir a reprodutibilidade dos dados (Zepka et al., 2007). Embora esse teste forneça informações valiosas sobre a qualidade dos lotes para comercialização, ele não prediz plenamente o desempenho das sementes no campo, onde condições podem ser desfavoráveis. Por isso, recomenda-se complementar o teste de germinação com o teste de emergência de plântulas em campo, que avalia a capacidade das sementes de se desenvolverem em ambiente natural. Essa abordagem integrada permite identificar lotes com maior potencial agrícola, assegurando maior sucesso no estabelecimento da cultura (Zepka et al.,

2007; Barbieri et al., 2012). Dessa forma, a combinação de testes oferece um panorama mais completo da qualidade fisiológica das sementes.

7.2. Condutividade elétrica

O teste de condutividade elétrica é um dos métodos confiáveis para avaliação do vigor das sementes, graças à sua objetividade, rapidez e facilidade de execução. Esse teste mede a quantidade de íons liberados na água de embebição, refletindo indiretamente a integridade do sistema de membranas celulares, que está relacionado ao vigor da semente (Marcos Filho et al., 1987). Ele é capaz de detectar degenerações sutis nas membranas celulares, que representam o início do processo de deterioração e não são identificadas pelo teste de germinação convencional (Vieira e Krzyzanowski, 1999). Essas alterações afetam diretamente a capacidade de armazenamento das sementes, a emergência das plântulas em campo, o crescimento e a produtividade das plantas (Vieira e Krzyzanowski, 1999; Marcos Filho et al., 1987). Dessa forma, o teste de condutividade elétrica é uma ferramenta valiosa para avaliar o potencial fisiológico, mesmo em estágios iniciais de degradação.

A condutividade elétrica pode ser avaliada pelo método de massa, comum e prático, ou individualmente para cada semente. No entanto, sua aplicação requer ajustes específicos para diferentes espécies, uma vez que os resultados são influenciados por fatores como morfologia, tamanho da semente, permeabilidade dos tecidos, qualidade e volume da água utilizada (Loeffler et al., 1988; Vieira e Carvalho, 1994). Originalmente proposto para sementes de ervilha, o teste relaciona a quantidade de eletrólitos liberada durante a embebição com a integridade das membranas celulares, uma medida direta da deterioração das sementes (Matthews e Powell, 2006). Embora recomendado para ervilha e sugerido para soja, tem sido aplicado em outras culturas devido à sua simplicidade e rapidez, mostrando-se promissor para o monitoramento do vigor em diferentes contextos agrícolas.

Diferentes fatores inerentes à semente ou à metodologia podem interferir nos resultados do teste de condutividade elétrica, como presença de sementes fisicamente danificadas, variações genotípicas, tamanho das sementes, grau de umidade inicial e condições de embebição, como tempo e temperatura (Sampaio et al., 1995). Durante as fases iniciais da embebição, a habilidade da semente em reparar danos nas membranas celulares determina a quantidade de solutos

liberados, influenciando a uniformidade e velocidade da germinação (Bewley e Black, 1994). Estudos com arroz indicam que o teste de condutividade elétrica é eficiente na distinção de lotes quanto ao vigor, sendo recomendado o uso de 25 sementes com casca em 50 a 75 mL de água deionizada, embebidas por 2 a 8 horas a 25°C (Barbieri et al., 2012). Portanto, o método é uma importante ferramenta para a avaliação precoce da qualidade fisiológica das sementes, crucial para o sucesso na produção agrícola.

7.3. Lixiviação de Potássio

Durante a embebição, as sementes liberam solutos citoplasmáticos para o meio líquido, e essa lixiviação está diretamente relacionada ao grau de desorganização das membranas celulares, assim como à capacidade das membranas de se reorganizarem rapidamente (Vieira e Carvalho, 1994; Barbieri et al., 2012). A medição da lixiviação de potássio (K^+) tem se mostrado uma ferramenta eficaz para avaliar o potencial fisiológico das sementes, sendo considerada mais específica e sensível do que a simples determinação de eletrólitos totais em algumas espécies, como o algodão (Woodstock et al., 1995). No arroz, o procedimento padrão envolve a imersão de 50 sementes puras em 50 mL de água destilada e deionizada, a 25°C, por 60 minutos, para classificar lotes segundo a qualidade fisiológica (Barbieri et al., 2012). Assim, a lixiviação de potássio é um indicador confiável que reflete diretamente o vigor e estado fisiológico das sementes, auxiliando na seleção de lotes mais viáveis para a semeadura.

A elevada lixiviação de solutos durante a imersão das sementes caracteriza a queda no vigor, decorrente da deterioração e danos acentuados sofridos na embebição, que atuam de forma inter-relacionada (Mathhews; Powell, 2006). Ao se medir somente o potássio liberado, o teste torna-se uma forma rápida e eficiente de avaliação, semelhante ao teste de condutividade elétrica, porém com a vantagem de oferecer resultados em tempo menor, o que o torna um método prático para sementes de diversas espécies (Dias e Marcos Filho, 1995). O potássio é o principal soluto liberado, devido à sua alta concentração e permeabilidade nas células vegetais, fato que justifica seu uso como parâmetro fisiológico (Taiz e Zeiger, 2009). Portanto, o teste de lixiviação de potássio é uma ferramenta valiosa para identificar precocemente a qualidade das sementes, impactando na produtividade agrícola.

8. Perspectivas Futuras

Apesar dos avanços obtidos com o uso da adubação orgânica e da identificação dos efeitos do déficit hídrico sobre o arroz vermelho, persistem importantes lacunas científicas que limitam a consolidação de recomendações técnicas específicas para o cultivo em regiões semiáridas. Entre as principais demandas, destacam-se a necessidade de estudos mais detalhados sobre doses, fontes e combinações de adubos orgânicos que maximizem a produtividade e a qualidade fisiológica das sementes. Também se faz urgente a avaliação da variabilidade genética de genótipos locais quanto à tolerância ao estresse hídrico, associando análises fisiológicas, bioquímicas e moleculares. A integração entre melhoramento genético, manejo do solo e práticas de conservação de água pode gerar sistemas de cultivo mais resilientes e sustentáveis. Além disso, pesquisas em nível socioeconômico são relevantes para compreender a viabilidade de adoção dessas práticas pela agricultura familiar, principal responsável pela produção de arroz vermelho. Por fim, o fortalecimento de programas de conservação de sementes e a difusão de tecnologias apropriadas podem contribuir para a valorização desse cereal tradicional, garantindo sua permanência como recurso estratégico para a segurança alimentar e para o desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro.

9. Conclusão

O cultivo do arroz vermelho no semiárido enfrenta limitações associadas ao déficit hídrico, à baixa tecnificação e ao uso de sementes não melhoradas. A adubação orgânica apresenta-se como prática promissora, capaz de melhorar a fertilidade do solo, a disponibilidade de nutrientes e a qualidade fisiológica das sementes, além de reduzir impactos ambientais. Entretanto, as informações científicas sobre doses adequadas de esterco e sobre a interação entre adubação e estresse hídrico ainda são incipientes, limitando a aplicação de recomendações específicas para esta cultura. Assim, investimentos em pesquisas multidisciplinares, aliando fisiologia vegetal, melhoramento genético e manejo do solo, são fundamentais para potencializar a produtividade e a qualidade do arroz vermelho. Além de preservar a biodiversidade agrícola regional, tais estratégias podem fortalecer a segurança alimentar e a renda de pequenos produtores, assegurando a permanência desse cereal tradicional como recurso genético e cultural estratégico para o Nordeste do Brasil.

Declaração de Conflitos de Interesse

Os autores declaram não ter interesses financeiros ou relacionamentos pessoais conflitantes conhecidos que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

Disponibilidade dos dados

Os dados serão disponibilizados mediante solicitação.

Conflitos de interesse/Interesses conflitantes - Os autores declaram não ter conhecimento de conflitos de interesse financeiro ou relacionamentos pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

Referências

Barbieri, A. P. P.; Menezes, N. L.; Conceição, G. M.; Tunes, L. M. Teste de lixiviação de potássio para a avaliação do vigor de sementes de arroz. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 34, n. 1, p. 117-124, 2012.

Bewley, J. D.; Black, M. *Seeds: physiology of development and germination*. 2. ed. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.

Borges, S. R. S.; Oliveira, M. R. T. De; Araújo, W. P.; Silva, E. M. Da; Soares, C. D. F. Proposição de um modelo para a cadeia produtiva do arroz vermelho da Paraíba. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 353-362, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395 p. Disponível em:

http://www.agricultura.gov.br/images/MAPA/arquivos_portal/ACS/sementes_web.pdf. Acesso em: [data].

Breseghele, F.; Stone, L. F. *Tecnologia para o arroz de terras altas*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. 161 p.

Carvalho, M. L. M.; Silva, W. R. Refrigeração e qualidade de sementes de milho armazenadas em pilhas com diferentes embalagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 29, n. 9, p. 329-332, 1994.

Crusciol, C. A. C.; Arf, O.; Soratto, R. P.; Andreotti, M.; Rodrigues, R. A. F. Produtividade e qualidade industrial de grãos de arroz de terras altas em função das lâminas de água no sistema irrigado por

- aspersão. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, v. 25, n. 1, p. 125-130, 2003.
- Crusciol, C. A. C.; Soratto, R. P.; Arf, O.; Mateus, G. P. Yield of upland rice genotypes in rainfed and sprinkler-irrigated systems in the Cerrado region of Brazil. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, East Melbourne, v. 46, p.1515-1520, 2006.
- Dias, D. C. F. S.; Marcos Filho, J. Teste de vigor baseados na permeabilidade das membranas celulares: I. Condutividade elétrica. *Informativo ABRATES*, v. 5, n. 1, p. 26-36, 1995.
- Elias, M. C. Efeitos da espera para secagem e do tempo de armazenamento na qualidade das sementes e grãos do arroz irrigado. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes), Universidade Federal de Pelotas, 1998. 164 f.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Brasília, 2006. 306 p.
- EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Adubação orgânica na produção do arroz. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=32930>. Acesso em: jun. 2022.
- Fageria, N. K. Deficiência hídrica em arroz de cerrado e resposta ao fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 15, p. 259-265, 1980.
- Farooq, M.; Wahid, A.; Kobayashi, N.; Fujita, D.; Basra, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 29, p. 185-212, 2009.
- Figliolia, M. B.; Oliveira, E. C.; Piña-Rodrigues, F. C. M. Análise de sementes. In: Aguiar, I. B.; Piña-Rodrigues, F. C. M.; Figliolia, M. B. (Coord.). *Sementes florestais tropicais*. Brasília: ABRATES, 1993. p. 137-174.
- Gang, X. M.; Chu, L. D.; Mei, L. J.; Zhu, Q. D.; Yagi, K.; Hosen, Y. Effects of organic manure application with chemical fertilizers on nutrient absorption and yield of rice in Human of Southern China. *Agricultural Sciences in China*, v. 10, p. 1245-1251, 2008.
- Guimarães, C. M.; Prabhu, A. S. Adubação orgânica do arroz de terras altas: relacionamento com a Brusone, esterilidade de espiguetas e produtividade. *Comunicado Técnico*, Embrapa Arroz e Feijão, 2002.
- Guimarães, C.M.; Santos, A.B.; Magalhães Júnior, A.M.; Stone, L.F. Sistemas De Cultivo. In: Santos, A.B.; Vieira, N.R.A. *A cultura do Arroz no Brasil* – 2. Ed. Ver. Ampl. Santo Antônio de Goiás: Editora Embrapa Arroz e Feijão, 2006(a). p. 53-96.
- Hoppe, J. M. Produção de sementes e mudas florestais. 2. ed. Santa Maria, 2004. 388 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-. Produção agrícola municipal: lavoura temporária. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pesquisa/14/10219?ano=2022>> Acesso em: janeiro de 2023.
- Infeld, J. A.; Silveira Jr., P.; Santos, E. C. Rendimento de grãos inteiros em função da umidade na colheita de duas cultivares de arroz irrigado. In: *Reunião da Cultura do Arroz Irrigado*, 13., Florianópolis, 1987. Anais... Florianópolis: EMPASC, p. 361-368, 1987.
- Juarch, J. J. Influência do tamanho e forma na qualidade das sementes de milho durante o armazenamento. Tese (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon – PR, 2004.
- Keigley, P. J.; Mullen, R. E. Changes in soybean seed quality from high temperature during seed fill and maturation. *Crop Science*, Madison, v. 26, n. 5, p. 1212-1216, 1986.
- Kiehl, J. E. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.
- Loeffler, T. M.; Tekrony, D. M.; Egli, D. B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality. *Journal of Seed Technology*, v. 12, n. 1, p. 37-53, 1988.
- Machado, J. R. Desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de populações de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por aspersão em função de épocas de cultivo. Tese (Livre Docência). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.
- Matthews, S.; Powell, A. A. Electrical conductivity vigour test: physiological basis and use. *ISTA News Bulletin*, n. 131, p. 32-35, 2006.
- Mauad, M.; Crusciol, C. A. C.; Grassi Filho, H. Produção de massa seca e nutrição de genótipos de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, n. 3, p. 939-948, 2011.
- Nascimento, W. M.; Dias, D. C. F. S.; Freitas, R. A. Produção de sementes de pimentas. *Informe agropecuário*, v. 27, n. 235, p. 30-39, 2006.
- Pereira, J. A. *Arroz Vermelho Cultivado no Brasil*. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2004. 90 p.
- Pereira, J. A. *Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 226 p.

- Pereira, J. A.; Bassinello, P. Z.; Fonseca, J. R.; Ribeiro, V. Q. Potencial genético de rendimento e propriedades culinárias do arroz vermelho cultivado. *Caatinga*, v. 20, p. 43-48, 2007.
- Pereira, J. A.; Morais, O. P. De; Breseghello, F. Análise da heterose de cruzamentos entre variedades de arroz vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p. 1135-1142, 2008.
- Pinto, L. F. S.; Laus Neto, L. A.; Pauletto, E. A. Solos de várzea do sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES Jr., A. M. Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 75-95.
- Popinigis, F. Fisiologia da semente. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289 p.
- Porto, B. H. C.; Segatto, E.; Rezende, N. C.; Magalhães, R. S.; Mateus, J. S.; Lacerda, H. N.; Moreira, L. B. Potencial agrônômico do arroz vermelho em sistema de produção agroecológico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, n. 2, p. 1042-1045, 2007.
- Prasertsak, A.; Fukai, S. Nitrogen availability and water stress interaction on rice growth and yield. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 52, p. 249-260, 1997.
- Quadros, B. R. De; Corrêa, C. V.; Magro, F. O.; Cardoso, A. I. I. Influência de composto orgânico e fósforo sobre sementes de alface. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, supl. 1, p. 2511-2518, 2012.
- Raij, B. Van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p.
- Rodrigues, R. A. F.; Soratto, R. P.; Arf, O. Manejo de água em arroz de terras altas no sistema de plantio direto, usando o tanque classe A. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 546-556, set./dez. 2004.
- Sampaio, N. V.; Sampaio, T. G.; Duran, J. M. Avaliação da qualidade de sementes através da condutividade elétrica dos exsudatos de embebição. *Informativo ABRATES*, Curitiba, v. 5, n. 3, 1995.
- Santos, C. M. R.; Menezes, N. L.; Villela, F. A. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 26, n. 1, p. 110-119, 2004.
- Saravia, C. T.; Peres, W. B.; Risso, J. Manejo da temperatura do ar na secagem intermitente de sementes de arroz irrigado. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 29, n. 2, p. 23-27, 2007.
- Silva, A. C. L. Alterações bioquímicas, morfofisiológicas e produtivas em genótipos de arroz em dois regimes hídricos. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012. 92 f.
- Silva, L. S. Da; Griebeler, G.; Moterle, D. F.; Bayer, C.; Zschornack, T.; Pocojeski, E. Dinâmica da emissão de metano em solos sob cultivo de arroz irrigado no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 473-481, 2011.
- Steinmetz, S.; Silva, S. C. Da; Santana, N. M. P. de. Clima. In: Santos, A. B. dos; Vieira, N. R. de A. A cultura do Arroz no Brasil – 2. ed. ver. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 117-160.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.
- USDA – United States Department of Agriculture. Rice: world markets and trade. Washington, DC. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 03 abr. 2023.
- Vieira, R. D.; Carvalho, N. M. Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: Funep, 1994.
- Vieira, R.D.; Krzyzanowski, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: Krzyzanowski, F. C.; Vieira, R. D.; França Neto, J. B. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. p. 4.1-4.26.
- Villas Bôas, R. L.; Passos, J. C.; Fernandes, D. M.; Büll, L. T.; Cezar, V. R.; Goto, R. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 22, n. 1, p. 28-34, 2004.
- Woodstock, L. W.; Furman, K.; Leffler, H. R. Relationship between weathering deterioration and germinations, respiratory metabolism and mineral leaching from cotton seeds. *Crop Science*, Madison, v. 25, p. 459-466, 1985.
- Yoshida, S. Growth and development of the rice plant. In: *Fundamentals of rice crop science*. Los Baños, 1981. p. 1-65.
- Zepka, A. P. S.; Larré, C. F.; Lopes, N. F. Avaliação do potencial fisiológico de cultivares de trigo tratadas com o herbicida pendimethalin. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 633-635,