



**Manejo de plantas daninhas e desafios no cultivo de arroz de terras altas no cerrado brasileiro**

**Weed management and challenges in brazilian cerrado upland rice cultivation**

**Manejo de malezas y desafíos en el cultivo de arroz de secano en el cerrado brasileño**

DOI: 10.55905/revconv.18n.8-076

Originals received: 7/7/2025

Acceptance for publication: 7/31/2025

**Úrsula Ramos Zaidan**

Doutora em Fitotecnia

Instituição: Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Endereço: Viçosa - Minas Gerais, Brasil

E-mail: ursula.zaidan@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4697-0160>

**Mabio Chrisley Lacerda**

Doutor em Fitotecnia

Instituição: Embrapa Arroz e Feijão

Endereço: Goiânia - Goiás, Brasil

E-mail: mabio.lacerda@embrapa.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8570-3922>

**Adriano Stephan Nascente**

Doutor em Fitotecnia

Instituição: Embrapa Arroz e Feijão

Endereço: Goiânia - Goiás, Brasil

E-mail: adriano.nascente@embrapa.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6014-3797>

**Virgínia Damin**

Doutora em Solos e Nutrição de Plantas

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Goiânia - Goiás, Brasil

E-mail: virginiadamin@ufg.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6014-3797>

**RESUMO**

O arroz (*Oryza sativa*) está inserido na base alimentar da população brasileira. É um dos produtos agrícolas mais consumidos pela população e exerce papéis social e econômico importantes para o país. A concentração produtiva deste cereal no Sul do Brasil, em caso de doenças na cultura ou



problemas climáticos, puede causar reducción en la producción del cereal y hacer al país altamente dependiente del mercado externo. Esto lo hace vulnerable a especulaciones de precios y toma de decisiones de emergencia para superar situaciones de riesgo que comprometan la productividad nacional, como cambios climáticos inesperados o reducción del área de producción. El cultivo de arroz de secano en la región del Cerrado puede ser un cultivo alternativo en áreas ya cultivadas en sucesión con soja, en el sistema de riego por pivote central, con el objetivo de aumentar la producción y reducir la dependencia del arroz producido en el Sur del país. Además, el arroz aportaría varios beneficios a los cultivos de soja y frijol, que actualmente, en casi el 100% de la superficie, realizan año tras año la sucesión soja-maíz-frijol. El arroz ayudaría a romper los ciclos de enfermedades, plagas y malezas, reduciendo el uso de pesticidas, los costos de producción y la contaminación ambiental, además de mejorar las características químicas, físicas y biológicas del suelo. Además, el uso de microorganismos multifuncionales puede ser una herramienta importante para promover el crecimiento de las plantas y proporcionar aumentos significativos en la productividad de los cultivos. Sin embargo, aún hay pocos estudios sobre manejo de malezas y el uso del cultivo de arroz de secano en la segunda cosecha en cultivos de regadío en la región del Cerrado y menos aún con el uso de microorganismos multifuncionales.

**Palabras-chave:** *Oryza sativa*, herbicidas, manejo integrado, residual de herbicida, rotación de cultura, plantio directo, sustentabilidad hídrica.

## RESUMEN

El arroz (*Oryza sativa*) forma parte de la alimentación básica de la población brasileña. Es uno de los productos agrícolas más consumidos por la población y juega un papel social y económico importante para el país. La concentración de la producción de este cereal en el Sur de Brasil puede hacer que el país sea altamente dependiente del mercado externo, sujeto a especulaciones de precios y a la toma de decisiones de emergencia para superar situaciones de riesgo que comprometan la productividad nacional, como cambios climáticos inesperados o reducción del área de producción. El cultivo de arroz de secano en la región del Cerrado puede ser un cultivo alternativo en áreas ya cultivadas en sucesión con soja, en el sistema de riego por pivote central, con el objetivo de aumentar la producción y reducir la dependencia del arroz producido en el Sur del país. Además, el arroz aportaría varios beneficios a los cultivos de soja y frijol, que actualmente, en casi el 100% de la superficie, realizan año tras año la sucesión soja-maíz-frijol. El arroz ayudaría a romper los ciclos de enfermedades, plagas y malezas, reduciendo el uso de pesticidas, los costos de producción y la contaminación ambiental, además de mejorar las características químicas, físicas y biológicas del suelo. Además, el uso de microorganismos multifuncionales puede ser una herramienta importante para promover el crecimiento de las plantas y proporcionar aumentos significativos en la productividad de los cultivos. Sin embargo, aún hay pocos estudios sobre manejo de malezas y el uso del cultivo de arroz de secano en la segunda cosecha en cultivos de regadío en la región del Cerrado y menos aún con el uso de microorganismos multifuncionales.

**Palabras clave:** *Oryza sativa*, herbicidas, gestión integrada, residuos de herbicidas, rotación de cultivos, siembra directa, sostenibilidad hídrica.



## ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa*) is part of the Brazilian population's dietary staple. It is one of the most consumed agricultural products by the population and plays an important social and economic role for the country. The concentration of production of this cereal in the South of Brazil can make the country highly dependent on the external market, subject to price speculation and emergency decision-making to overcome risk situations that compromise national productivity, such as unexpected climate change or reduction of production area. The cultivation of upland rice in the Cerrado region can be an alternative cultivation in areas already cultivated in succession with soybean crops, in the central pivot irrigation system, aiming to increase production and reduce dependence on rice produced in the South of the country. Additionally, rice would provide several benefits for soybean and common bean crops, which currently, in almost 100% of the area, carry out the soybean/corn/common bean succession year after year. Rice could help break the cycles of diseases, pests and weeds, reducing the use of pesticides, production costs and environmental pollution, as well as improving the chemical, physical and biological characteristics of the soil. Additionally, the use of multifunctional microorganisms can be an important tool for promoting plant growth and providing significant increases in crop productivity. However, there are still few studies on the weed management and the use of upland rice in the second crop in irrigated crops in the Cerrado region, and even fewer with the use of multifunctional microorganisms.

**Keywords:** *Oryza sativa*, herbicides, integrated management, herbicide residue, crop rotation, no-till planting, water sustainability

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura no Cerrado assume uma posição central na economia brasileira. Esta extensa área de savana tropical, conhecida como "celeiro do Brasil", possui uma grande diversidade de solos e climas. Com a aplicação de tecnologias avançadas e adoção de métodos agrícolas modernos, o Cerrado tem se destacado na produção de commodities como soja, milho, algodão e carne bovina, e, mais recentemente o arroz, especialmente para o de terras altas nas regiões savânicas dos estados do Mato Grosso e Maranhão, e do arroz irrigado no estado do Tocantins. No entanto, esse incremento na atividade agrícola também trouxe consigo desafios ambientais, como desmatamento e uso intensivo de agrotóxicos. Esforços têm sido empreendidos para promover práticas sustentáveis e a preservação das áreas nativas do Cerrado, reconhecendo sua importância como "berço das águas" e para a conservação da singular biodiversidade desta região (Silva *et al.*, 2020).

Quanto ao uso de defensivos agrícolas no Cerrado, constatou-se que alguns herbicidas, como o glifosato, apresentaram níveis variados de seletividade em plantas nativas do Centro-



Oeste brasileiro (Do Amaral *et al.*, 2018). Destaca-se a ameaça potencial às espécies nativas em matas-secas sul-americanas devido ao aumento no uso de herbicidas para controlar o avanço da infestação com plantas daninhas na agricultura local (Gurvich, 2020). Os riscos ambientais associados aos resíduos de herbicidas em agroecossistemas também são discutidos, enfatizando-se a necessidade de avaliar seu impacto em plantas não-alvo, ou mesmo seus efeitos residuais no solo e mananciais (Mehdizadeh *et al.*, 2021).

É preciso alcançar um equilíbrio entre a produção e uso de técnicas de manejo que impactem o meio ambiente com base no uso de herbicidas. No Brasil, o arroz é o segundo alimento mais consumido pela população e desempenha papel estratégico tanto social quanto econômico. Este cereal representa um percentual considerável da produção agrícola nacional, ficando atrás apenas do café, da soja, do milho e da cana-de-açúcar (Ferreira; Santiago, 2012). Dada a importância da cultura, esse equilíbrio é imprescindível, ainda que no contexto tão delicado como o Cerrado. A produção nacional de arroz é realizada, predominantemente, em tabuleiros inundados em sistemas de cultivo irrigado no Sul do país. Esta prática tem ocasionado impactos ambientais relacionados ao grande consumo de água, à infestação de plantas daninhas e à emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (Pacheco, 2009).

Além disso, condições climáticas desfavoráveis ao cultivo do cereal nas regiões produtoras do país, como a falta de chuvas, diminuiriam o cultivo e a produção de arroz, levando ao aumento exagerado dos preços do produto. A expansão da cultura do arroz em diferentes áreas do território nacional, especialmente como opção de sucessão de culturas como soja e milho, requer uma investigação mais aprofundada. Estudos recentes indicam que práticas de cultivo otimizadas, como o uso de variedades adaptadas à escassez hídrica, a aplicação controlada de irrigação ou a utilização de microrganismos que proporcionem maior eficiência no uso da água são fundamentais para aumentar a produtividade nessas condições desafiadoras (Singh *et al.*, 2020; Erawan, 2020).

Dessa forma, constata-se que a superação dos obstáculos nos sistemas de cultivo de arroz pode envolver várias intervenções, como o desenvolvimento de cultivares adaptados, a gestão adequada do solo e da água, além da aplicação de tecnologias de conservação de recursos (Kumar *et al.*, 2022; Asmuti; Tjandra, 2020).

Mesmo com esses desafios, a cultura de arroz de terras altas para ser usado como opção ao cultivo do milho na safrinha, surge como alternativa de cultivo, que vem crescendo em



importância no Cerrado brasileiro, na tentativa de produzir grãos de qualidade e com menor impacto sobre o meio ambiente. O cultivo de arroz de terras altas pode proporcionar economia de água no processo produtivo quando comparado com o sistema irrigado por inundação, além de possibilitar a dispersão da produção deste cereal no território nacional, descentralizando a produção em relação à região Sul do Brasil (Silva *et al.*, 2020). A expansão de áreas de produção de arroz pelo país é de extrema importância se levarmos em consideração a possibilidade de ocorrência de catástrofes naturais ou mudanças climáticas inesperadas na região Sul, o que comprometeria a produção da cultura, tornando o Brasil altamente dependente do mercado externo, sujeito a especulações de preços e obrigado a buscar alternativas emergenciais para contornar essa situação de risco.

Ao enfrentar o desafio da aplicação de herbicidas na cultura do arroz, especialmente em regiões savânicas, é possível adotar práticas que visem atenuar os impactos ambientais sem necessariamente comprometer a produtividade. Estudos evidenciam que abordagens integradas para o manejo de plantas daninhas, com a combinação da aplicação de herbicidas com capinas manuais, resultaram em um maior rendimento de grãos em comparação com o crescimento não regulado de plantas daninhas (Parthipan; Ravi, 2016). Além disso, a eficácia de estratégias integradas, que englobam o uso de herbicidas combinado com outros métodos de manejo de plantas daninhas, foi destacada para aprimorar a produtividade do arroz (Arunima *et al.*, 2017). É enfatizada a relevância de métodos sustentáveis de manejo de plantas daninhas, incluindo abordagens microbiológicas do solo, para controlar o desenvolvimento dessas plantas em campos de arroz (Ismail; Abdullah, 2020). Adicionalmente, é sublinhada a necessidade de uma abordagem abrangente de manejo de plantas daninhas que incorpore estratégias culturais, físicas e biológicas juntamente com a aplicação criteriosa de herbicidas, visando reduzir a competição das plantas daninhas e aprimorar, portanto, o rendimento do arroz (Kumar; Mahajan; Chauhan, 2017).

Neste contexto, é também importante que os sistemas de políticas públicas incentivem e possibilitem a realização de pesquisas voltadas à criação de novas tecnologias que viabilizem a expansão e o desenvolvimento do cultivo do arroz no país. Este artigo de revisão teve por objetivo analisar criticamente os diversos aspectos envolvidos no cultivo de arroz no Cerrado brasileiro. Foram abordados temas como o uso de herbicidas e seus impactos, incluindo a investigação dos efeitos residuais desses produtos nos solos da região. Além disso, foram discutidos os desafios



enfrentados na expansão da orizicultura no Cerrado, com destaque para a importância dos microrganismos multifuncionais para a produção agrícola sustentável. Adicionalmente, foram consideradas as perspectivas promissoras para a orizicultura na região do Centro-Oeste ou para todo Cerrado brasileiro, com a necessidade de se enfrentar os desafios do desenvolvimento sustentável na rotação de culturas no bioma.

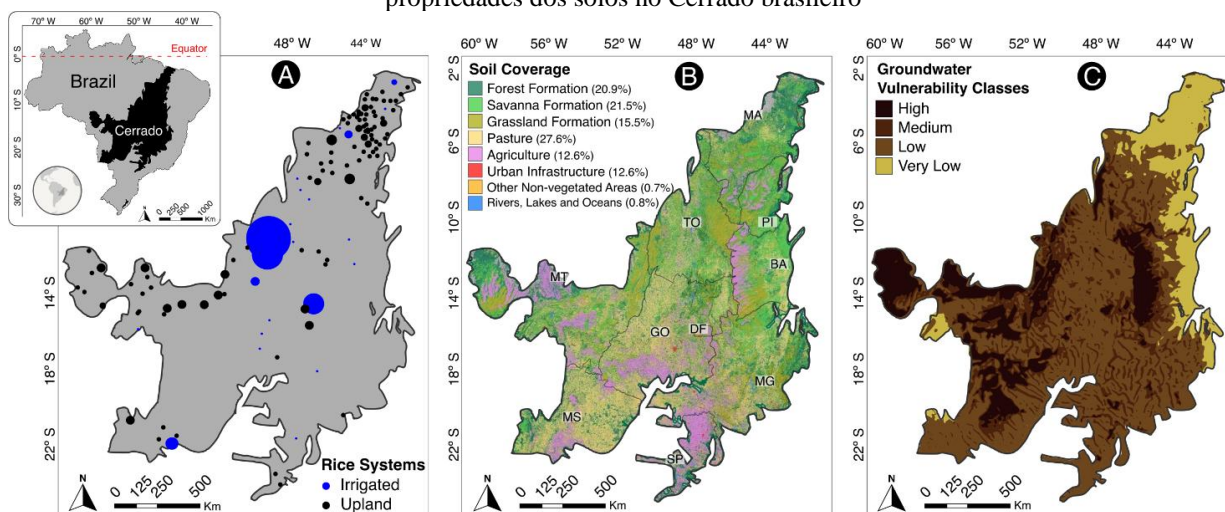
## 2 HERBICIDAS NO CULTIVO DE ARROZ NO CERRADO BRASILEIRO: IMPACTOS E USO SUSTENTÁVEL

Compreender a importância dos herbicidas mais utilizados no cultivo de arroz no Cerrado é fundamental para garantir a produtividade agrícola e o manejo eficaz dessa cultura na região. Os principais herbicidas usados no cultivo de arroz no Cerrado brasileiro incluem **clomazona, propanil, quincloraque, 2,4-D, metsulfuron-metílico, carfentrazone-etílica, bentazona, oxyfluorfen, bispiribaque-sódico, pirazossulfurom-etílico** e o **grupo das imidazolinonas** (Primel *et al.*, 2005; Marchesan *et al.*, 2007; Poleza *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2009). Esses herbicidas foram detectados em amostras de água de rios, com diferentes frequências e concentrações. A contaminação dos corpos d'água com esses herbicidas é atribuída às práticas de manejo no cultivo de arroz, como áreas alagadas e o transbordamento da água dos arrozais (Marchesan *et al.*, 2007). É importante monitorar e avaliar a extensão da contaminação a fim de embasar ações de mitigação e conscientização ambiental (Silva *et al.*, 2009).

A região do norte do Cerrado concentra um grande volume de cultivos de arroz em sistema irrigado, além de áreas pontuais com cultivo em terras altas (Figura 1-A). Essa região, em geral, não apresenta grandes problemas com vulnerabilidade de contaminação do lençol freático, sugerindo ser possível a utilização de herbicidas com menor risco de lixiviação dos mesmos no perfil do solo. Entretanto, considerando a saúde dos solos, é necessário aprofundar os estudos sobre o tema, visto que alguns herbicidas têm elevado potencial de contaminação dos solos, podendo interferir nas características microbiológicas do solo e afetar negativamente populações microbianas específicas (Kaur, S., Singh, S., & Phutela, 2014).



Figura 1. Disposição de características do Cerrado (Savana Brasileira), relacionando questões inerentes à cultura do arroz e a do Cerrado. A) Regiões de plantio de arroz, tanto para terras-altas, como para irrigado, o tamanho do círculo representa a proporção de plantio (Silva *et al.*, 2020); B) Ocupação do solo para as diferentes regiões do Cerrado (Rocha, M. I. S., & Nascimento, 2021), são mostrados os estados brasileiros: Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Tocantins (TO), Goiás (GO), Distrito Federal (DF), São Paulo (SP), Minas Gerais (MG), Bahia (BA), Maranhão (MA) e Piauí (PI). C) Suscetibilidade à contaminação da água subterrânea em função de propriedades dos solos no Cerrado brasileiro



Fonte: Mingoti; Spadotto; Moraes, 2016).

As oito classes de cobertura do solo, incluindo formações florestais, cerrado (savana brasileira), pastagens, áreas urbanas, áreas não vegetadas, corpos d'água e outras, também exercem influência sobre as dinâmicas de cultivo de arroz (irrigado quanto de terras-altas) e no deslocamento e contaminação de herbicidas na paisagem (Figura 1-B). O tipo de cobertura do solo influencia diretamente a exposição e a mobilidade dos herbicidas, com áreas urbanas e corpos d'água potencialmente mais vulneráveis à contaminação devido à proximidade com áreas agrícolas. As pastagens e o cerrado podem servir como áreas-tampão que mitigam a contaminação, enquanto as áreas de formação florestal desempenham um papel na conservação da qualidade da água. O entendimento da interconexão entre essas classes de cobertura do solo, a agricultura do arroz e a gestão de herbicidas pode funcionar para minimizar os impactos ambientais e promover práticas agrícolas sustentáveis.

Analisando a Figura 1-C, segundo Mingoti; Spadotto; Moraes, (2016), a profundidade do lençol freático foi estimada por meio de um modelo de avaliação. Os solos foram analisados para determinar o índice de tempo de retenção de água, considerando características como espessura de horizontes, granulometria, teor de carbono orgânico, densidade e umidade. Os solos com maior suscetibilidade à contaminação do lençol freático por produtos químicos estão localizados nas regiões Sudeste e Centro-leste do Mato Grosso, Oeste da Bahia, Sudoeste de Goiás e Norte



de Mato Grosso do Sul, com predominância de Neossolos Quartzarênicos órticos e Latossolos Vermelhos distróficos (Mingoti; Spadotto; Moraes, 2016).

Estudos como o de Tudararo-Aherobo & Ataikiru (2020) constataram que o uso prolongado de herbicidas afetou negativamente as populações de bactérias e fungos nos solos de fazendas de cenoura e milho. Algumas espécies microbianas, como a *Azotobacter*, podem servir como indicadores de mudanças no solo após a aplicação de herbicidas (Milosevic; Govedarica, 2002). Kumar *et al.*, (2015) observaram que a aplicação de herbicidas resultou em uma supressão transitória de microrganismos benéficos, incluindo fungos, mas a população microbiana se recuperou ao longo do tempo.

As regiões de Cerrado ao oeste e norte do Mato Grosso (MT) são as regiões mais críticas de potencial de contaminação do lençol freático, e nessa região há predominância do cultivo de arroz irrigado. Faz-se necessário adotar cuidados redobrados ao se utilizar herbicidas e demais agroquímicos nessa região. Neste contexto, faz-se necessário o conhecimento da dinâmica de movimentação dos herbicidas no perfil do solo. Estudos sugerem que herbicidas usados em cultivos agrícolas podem se mover de forma ascendente no perfil do solo, acumular-se como resíduos, controlar efetivamente as plantas daninhas e ter graus variados de mobilidade, dependendo do herbicida específico e das características do solo (Firmino *et al.*, 2008).

A mistura formulada dos herbicidas imazetapir e imazapic pode se mover para cima no perfil do solo, especialmente quando o lençol freático está mais próximo da superfície do solo (Bundt *et al.*, 2013). Além disso, o potencial de acúmulo de resíduos de herbicidas em solos e em outros compartimentos ambientais foi destacado em pesquisa sobre a dinâmica de resíduos e comportamento de degradação de pirazosulfuron-etílico utilizado na orizicultura (Sondhia; Waseem, 2020). A dinâmica da população de plantas daninhas e a eficácia de herbicidas em um sistema de cultivo de milho-arroz irrigado por aspersão também foram avaliadas, e demonstraram que os herbicidas podem controlar efetivamente as plantas daninhas e melhorar o rendimento de grãos de arroz (Opeña *et al.*, 2014). A mobilidade dos herbicidas 2,4-D e paraquat foi comparada em solos agrícolas da Malásia, revelando que o 2,4-D tem maior mobilidade do que o paraquat, possivelmente devido a diferenças na adsorção e na distribuição de carbono orgânico no solo (Ismail, B. S., Sameni, M., & Halimah, 2013). Cabe destacar que o uso do **paraquate** está **proibido no Brasil desde 22 de setembro de 2020**, conforme determinação da ANVISA, RDC nº 177/2017 (Brasil, 2017)



Na região fronteira entre o Mato Grosso (MT) e Tocantins (TO), há predomínio de vastas áreas com cultivo de arroz de terras altas, e apresenta significativa vulnerabilidade do lençol freático. E a região do oeste baiano, pertencente ao “eixo” Matopiba” apresenta alta vulnerabilidade de contaminação ao lençol freático.

Além dos herbicidas mencionados para a cultura do arroz, destaca-se a ampla gama de princípios ativos empregados em outras culturas cultivadas no Cerrado. Considerando a inclusão do arroz em sistemas de rotação soja/milho/feijão/cana-da-açúcar, torna-se essencial considerar diversos herbicidas empregados nessas culturas. Em análise dos herbicidas mais utilizados em cultivos agrícolas do Cerrado, destacam-se diversas pesquisas que revelam as substâncias mais prevalentes nessas práticas.

De acordo com Armas (2006), diuron e acetochlor eram os herbicidas mais comumente utilizados no cultivo de cana-de-açúcar, enquanto Nogueira *et al.*, (2012) encontraram a presença de atrazina, clorpirifos, endossulfano, flutriafol, malationa e metolacoloro em matrizes de água em áreas de produção de grãos. Inoue *et al.*, (2003) identificaram glifosato, atrazina, 2,4-D e sulfosato como os herbicidas com maior volume de comercialização no estado do Paraná. Além disso, Reis *et al.*, (2019) relataram que os herbicidas inibidores do fotossistema II eram os mais utilizados no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

### **3 EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS NOS SOLOS DO CERRADO**

É sabido que o teor de matéria orgânica no solo exerce influência significativa na eficácia do controle de plantas daninhas com o uso de herbicidas. A matéria orgânica pode ter papel fundamental na retenção, transporte e transformação do herbicida no solo, o que pode afetar sua eficácia no controle de plantas daninhas (Takeshita *et al.*, 2019). A matéria orgânica do solo desempenha papel crítico na determinação do nível de controle alcançado com herbicidas de pré-emergência, e o ajuste das doses de aplicação de herbicidas com base na variação do teor de matéria orgânica torna-se necessário (Metcalf *et al.*, 2018).

Segundo Oliveira *et al.* (2017), o efeito residual dos herbicidas, especificamente 2,4-D e glifosato, aumentou com intervalos mais curtos entre a aplicação e a semeadura da soja, levando à fitotoxicidade e redução do desenvolvimento da cultura em solos argilosos do Cerrado brasileiro. Oliveira; Koskinen; Ferreira (2001) examinou o potencial de sorção e lixiviação de



vários herbicidas em solos brasileiros, destacando a correlação entre sorção e teor de carbono orgânico do solo. O estudo também identificou herbicidas com potencial de lixiviação, como sulfonilureias e hexazinona. Spadotto; Hornsby; Gomes (2005) concentrou-se em herbicidas ácidos (2,4-D, flumetsulam e sulfentrazone) e propôs um modelo modificado para estimar seu potencial de lixiviação, considerando coeficientes de sorção dependentes do pH. Por fim, Fernandes *et al.* (2020) conduziu uma revisão crítica da distribuição de pesticidas em solos brasileiros, revelando a presença de vários pesticidas, incluindo organoclorados, com concentrações variadas e níveis mais elevados em solos residenciais em comparação com solos agrícolas.

Regiões espanholas com solo argiloso enfrentam problemas de resistência de plantas daninhas, como *Echinochloa spp.*, *Leptochloa spp.* e *Cyperus difformis*, devido ao uso repetido de herbicidas inibidores ALS e ACCase. Essas espécies desenvolveram resistência devido a mutações nos genes-alvo dos herbicidas. A disponibilidade de novos mecanismos de ação é limitada, sugerindo a necessidade de estratégias alternativas, como rotação de culturas e capina manual, para o manejo eficaz de plantas daninhas resistentes no cultivo de arroz (Barreda *et al.*, 2021).

Os estudos de herbicidas nos solos arenosos e siltosos do Cerrado revelam desafios únicos na gestão agrícola dessa região. Foi identificada a ocorrência e distribuição de vários herbicidas na região do Rio Jaguaribe (estado do Ceará, Brasil), com alguns herbicidas detectados em todas as amostras analisadas (Gama *et al.*, 2017). Neufeldt; Resck; Ayarza (2002) examinou os efeitos de sistemas de uso da terra na matéria orgânica do solo em Latossolos do Cerrado, demonstrando que o cultivo contínuo e o reflorestamento levaram a uma redução no teor de matéria orgânica do solo. Correia; Durigan; Klink, (2007) investigaram a influência de resíduos de cultura na eficácia de herbicidas no cultivo de soja, concluindo que a eficiência dos herbicidas não foi afetada pela quantidade de palha. Santos *et al.* (2022) avaliou o impacto de culturas de cobertura nas propriedades químicas do solo na ecótona Cerrado/Caatinga, revelando que as culturas de cobertura melhoraram várias propriedades químicas do solo, mas causaram redução tanto no teor de matéria orgânica quanto na capacidade de troca de cátions do solo. Esses estudos fornecem informações sobre a ocorrência e distribuição de herbicidas, os efeitos de sistemas de uso da terra na matéria orgânica do solo, a influência de resíduos de cultura na eficácia de herbicidas e o impacto de culturas de cobertura nas propriedades químicas do solo no Cerrado.



A escolha dos herbicidas em sistemas de cultivo de arroz, seja em terras altas ou irrigadas, é baseada em considerações específicas relacionadas às condições de cultivo e às necessidades de controle de plantas daninhas. Em sistemas de arroz de terras altas, herbicidas de amplo espectro de ação são frequentemente preferidos devido às características desses ambientes. Sistemas de cultivo de arroz de terras altas tendem a apresentar maior diversidade de plantas daninhas de folhas largas e folhas estreitas (Kaur; Kaur; Bhullar, 2016).

Já em sistemas de arroz irrigado, a seleção de herbicidas como clomazona, bispiribaque, cialofop-butílico, fenoxaprope-p-etílico e oxifluorfen pode ser mais adequada devido às condições específicas de cultivo. Nesse tipo de sistema, as áreas são frequentemente alagadas ou inundadas, criando um ambiente propício para o crescimento de gramíneas aquáticas. Herbicidas como clomazona e cialofop-butílico demonstram eficácia no controle dessas gramíneas, tornando-os mais apropriados para sistemas irrigados. Por outro lado, herbicidas como 2,4-D e Pendimetalina são considerados versáteis e podem ser utilizados em ambos os sistemas de cultivo de arroz. De acordo com Zaidan *et al.* (2021), os herbicidas glifosato, triclopir e carfentrazona demonstram eficácia promissora no controle da planta daninha aquática *Heteranthera reniformis* em campos de arroz irrigado. Essa versatilidade se deve à sua eficácia no controle de uma variedade de plantas daninhas comuns em campos de arroz, independentemente do tipo de sistema. Essa flexibilidade torna esses herbicidas opções viáveis para agricultores que cultivam arroz em diferentes condições.



Tabela 1. Características dos principais herbicidas utilizados na cultura do arroz em sistemas de terras altas ou irrigado: ingrediente ativo, dose, época de aplicação, sistema de cultivo e observações técnicas.

Ingrediente ativo	Dosagem	Época de aplicação	Sistema de cultivo	Observações
<b>2,4-D</b>	0,6 – 1,5 L/ha	Pós-emergente	Irrigado e terras altas	Aplicar após o perfilhamento do arroz e antes de seu emborrachamento
<b>Cialofop-butílico</b>	1,0 – 1,75 L/ha	Pós-emergente	Irrigado e terras altas	Aplicar até os 40 dias após a germinação do arroz e na fase inicial de desenvolvimento da planta daninha
<b>Fenoxaprop-p-etílico</b>	0,8 – 1,0 L/ha	Pós-emergente	Irrigado e terras altas	Plantas daninhas com até 4 folhas, geralmente entre 10 e 25 dias após a germinação do arroz
<b>Metsulfurom-metilico</b>	3,0 – 4,0 g/ha	Pós-emergente	Irrigado e terras altas	Em pré-emergência (pós-plantio). Aplicar com solo úmido, porém não encharcado. Chuva ou irrigação com grande volume de água após a aplicação pode acarretar fitotoxicidade à cultura.
<b>Pendimentalina</b>	2,5 – 3,5 L/ha	Pré-emergente	Irrigado e terras altas	Pode ocorrer fitotoxicidade inicial de leve a moderada ao sistema radicular, com recuperação da cultura após 30 dias de aplicação.
<b>Profoxidim</b>	0,75 L/ha	Pós-emergente	Irrigado e terras altas	Pré-emergência: Aplicar em uma única vez na pré-emergência das plantas daninhas e da cultura. Pós-emergência: Aplicar em uma única vez em pós-emergência, quando as plantas daninhas estiverem no estágio até 4 folhas e a cultura até 1 perfilho.
<b>Trifuralina</b>	1,2 – 2,4 L/ha	Pré-emergente	Irrigado e terras altas	
<b>Imazapir + Imazapique</b>	140 g/ha	Pré e Pós-emergente	Irrigado e terras altas	
<b>Florpirauxifeno-benzílico</b>	0,8 - 1,2 L/ha	Pós-emergente	Irrigado	Deve ser aplicado em arroz a partir de 3 folhas até o final do perfilhamento (V8)
<b>Bentazon</b>	1,0–2,0 L/ha	Pós-emergente	Irrigado e terras altas	Especialmente eficaz no controle de algumas folhas largas, incluindo tiririca ( <i>Cyperus spp.</i> ).
<b>Propanil</b>	3,0–5,0 kg/ha	Pós-emergente	Irrigado e terras altas	Um dos herbicidas mais tradicionais em arroz, com amplo espectro. Atenção ao manejo de resistência.
<b>Metamifope</b>	0,8 - 1,0 L/ha	Pós-emergente	Irrigado e terras altas	Aplicar na fase inicial de desenvolvimento da planta daninha

Fonte: Adaptado de Agrofit ([http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)).



As imidazolinonas fazem parte do grupo de herbicidas que também desempenham papel importante na cultura do arroz, principalmente no controle de plantas daninhas resistentes a outros herbicidas. Estes herbicidas têm uma ação seletiva que permite o controle eficaz de muitas espécies de plantas daninhas sem causar danos significativos às plantas de arroz, desde que sejam usados corretamente (Ulguim *et al.*, 2021). No entanto, estudos atuais, demonstram que a utilização inadequada de herbicidas pode resultar em problemas nas esferas ambientais e socioeconômicas. Herbicidas do grupo das imidazolinonas podem persistir no solo por mais de 180 dias após a aplicação e têm uma degradação maior em solos não inundados em comparação com solos inundados (Helgueira *et al.*, 2019).

#### **4 DESAFIOS NA EXPANSÃO DO CULTIVO DE ARROZ NO CERRADO BRASILEIRO**

Como o desafio é aumentar as áreas de cultivo, uma alternativa ao arroz irrigado no Cerrado brasileiro é o arroz de terras altas, devido à limitação de recursos hídricos nessa região. O arroz de terras altas, adaptado para solos com menor disponibilidade de água, exige menos irrigação em comparação com o arroz irrigado. Além disso, o cultivo de arroz irrigado requer uma infraestrutura de irrigação mais sofisticada e onerosa, tornando o arroz de terras altas uma opção economicamente mais viável para os agricultores do Cerrado. Essa escolha promove a sustentabilidade hídrica na região, evitando a sobrecarga nos recursos hídricos disponíveis e contribuindo para práticas agrícolas mais eficientes em termos de uso de água. Para isso, pode-se buscar a introdução do arroz de terras altas no período de safrinha em rotação com outras culturas, com o intuito de produzir grãos de qualidade e com menor impacto sobre o meio ambiente (Furtini; Breseghello; Castro, 2019). O Cerrado brasileiro possui características edafoclimáticas que permitem o cultivo de arroz. Apesar da baixa fertilidade natural e elevada acidez, a cultura pode apresentar bom desempenho e produtividade quando são adotadas práticas de manejo adequadas.

A agropecuária goiana tem grande importância no cenário econômico nacional, uma vez que sua produção de grãos e carnes representa um dos principais produtos de exportação do estado. O Estado de Goiás é um dos maiores produtores de milho, feijão-comum, soja e tomate do Brasil. Outros cultivos importantes são: algodão, cana-de-açúcar, tomate, café, arroz, trigo e alho. A agricultura representa 10,4% do PIB do estado de Goiás. O setor agrícola gerou mais de



64 mil empregos no estado em 2017, 18% a mais do que no ano anterior, com tendências de crescimento também para 2018 (Faeg, 2017). Além disso, o estado de Goiás possui mais de 237 mil hectares de área cultivada em sistema de irrigação por pivôs centrais. Entretanto, a maioria dos agricultores, nessas áreas, pratica o cultivo de soja na mesma área, ano após ano, em regime de sucessão com o milho na safrinha e o feijão-comum no inverno (Conab, 2018). Esta prática pode causar problemas ambientais e econômicos, uma vez que aumenta os custos de produção devido ao incremento nas aplicações de pesticidas para controlar doenças, insetos e plantas daninhas e não permitir a intensificação sustentável.

A rotação constante de soja, milho e feijão-comum tem elevado os custos de produção devido ao uso intensivo de agrotóxicos para o controle de pragas e patógenos. A ocupação do solo durante todo o ano proporciona uma série de benefícios, porém fornece alimento abundante para pragas e patógenos não específicos, que permanecem na área, migrando de um cultivo para outro. O principal método de controle de pragas e doenças continua sendo a aplicação de agrotóxicos. Entretanto, em casos como o da mosca-branca *Bemisia tabaci*, transmissora de uma série de viroses, o uso excessivo das mesmas moléculas tem rapidamente reduzido a vida útil dos inseticidas selecionando populações de insetos resistentes à maioria dos produtos disponíveis no mercado, limitando, assim, a eficiência do controle químico. Em algumas regiões, como por exemplo o sudoeste goiano e o entorno do Distrito Federal, são comumente realizadas de 15 a 20 aplicações por ciclo de cultivo (Sousa; Bacarin; Pinto, 2012).

Esse número excessivo de aplicações tem diversas desvantagens, que vão desde impactos ambientais e para a saúde humana até prejuízos econômicos, aumentando os custos de produção pela necessidade cada vez maior de agrotóxicos, devido à seleção de pragas resistentes, ao ponto de inviabilizar a produção de certos cultivos, como é o caso do feijoeiro no cultivo da seca.

## **5 MICRORGANISMOS MULTIFUNCIONAIS ALIADOS À PRODUÇÃO E SUSTENTABILIDADE DA ATIVIDADE AGRÍCOLA**

Neste cenário, o uso de microrganismos multifuncionais tem aumentado nos últimos anos, como alternativa viável, ainda em pequena escala, ao uso de agroquímicos sintéticos. Há várias vantagens do uso de insumos microbianos, entre elas (a) atuam com eficiência em casos onde produtos sintéticos não funcionam, (b) ausência de resíduos perigosos ao ambiente e à saúde



humana, (c) origem natural sendo menos impactante ao ambiente e (d) menor custo de desenvolvimento, produção e conseqüentemente, redução do custo de produção, o que se traduz em aumento da rentabilidade (Bonaterra *et al.*, 2012; Nascente *et al.*, 2017b). A utilização de determinadas espécies de microrganismos como promotores de crescimento de plantas, fixadores de nitrogênio, solubilizadores de fósforo, produtores de hormônios de crescimento como o ácido indol acético (AIA) ou agentes de controle biológico de pragas e doenças é conhecida há muitas décadas, havendo disponibilidade de produtos no mercado. O efeito destes isolados aplicados individualmente ou em co-inoculação tem sido testado com sucesso em algumas espécies de plantas e em algumas combinações (Nascente *et al.*, 2017a, 2017b, 2019a, 2019b; Silva *et al.*, 2020; Araujo *et al.*, 2021; Fernandes *et al.*, 2021; Rezende *et al.*, 2021). Porém, ainda há muito a ser explorado. Existem diversos microrganismos existentes na natureza que ainda não foram estudados e que podem ser benéficos para o desenvolvimento das plantas. A boa notícia é que a pesquisa com microrganismos vem crescendo ano após ano e periodicamente vemos novos produtos sendo lançados no mercado, como o Biomaphos para a solubilização de fosfato ou o Auras para aumentar a eficiência no uso da água pelas plantas.

Em razão do desenvolvimento de Goiás estar atrelado principalmente à agricultura, somado à demanda crescente da sociedade por alimentos saudáveis e pela aplicação de produtos mais seguros nas práticas agrícolas, o estado é um potencial mercado para o uso de microrganismos multifuncionais, tanto para o controle biológico de doenças e pragas, quanto para a redução/substituição do uso de fertilizantes sintéticos. Além disso, a criação do programa nacional de bioinsumos em 2020 e a criação do programa estadual de bioinsumos pelo Estado de Goiás, representam excelentes oportunidades para ampliar o uso de microrganismos multifuncionais no Estado e estimular o crescimento da economia goiana em um setor considerado sustentável. Nesse sentido, o arroz de terras altas com o uso de microrganismos benéficos pode ser boa alternativa de otimização destas áreas agrícolas de forma sustentável para o Estado e ser opção na sucessão com soja em alternativa ao milho (Pacheco, 2009).



## 6 DESAFIOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA ORIZICULTURA NA ROTAÇÃO DE CULTURAS

No entanto, alguns entraves devem ser superados para construção de caminhos para o desenvolvimento econômico sustentável do setor ligado à orizicultura na rotação de culturas no Cerrado. O manejo de plantas daninhas é um dos principais fatores limitantes desta produção sustentável de arroz de terras altas em sucessão com a soja. Os herbicidas utilizados no controle de plantas daninhas na cultura da soja, aplicados em pré ou pós emergência da cultura, podem apresentar longo efeito residual no solo e sua persistência pode ser favorável em se tratando da manutenção da cultura livre da competição com plantas daninhas, mas é desfavorável quando ocasiona intoxicação e injúrias nas culturas em sucessão ou rotação (Sousa; Bacarin; Pinto, 2012). Este efeito negativo de herbicidas em culturas subsequentes é conhecido como *carryover*, e pode ser influenciado por fatores relacionados às características do solo e à condições ambientais tais como precipitação pluviométrica e temperatura (Mendes; Reis, 2017).

Adicionalmente, existem poucas informações para a cultura do arroz de terras altas, principalmente quando semeado em safrinha, pós soja e antes do feijão-comum (Nascente *et al.*, 2013). Os efeitos residuais dos herbicidas utilizados na soja para a cultura do arroz têm sido alvo de questionamentos por parte dos produtores interessados em adotar o esquema soja/ arroz/ feijão-comum. Isto porque, tem-se trabalhado cada vez mais com culturas de ciclo mais curto, reduzindo também, o período para que o herbicida possa ser degradado no sistema (Mendes; Reis, 2017).

Neste contexto, a Embrapa desenvolveu a cultivar BRS A502 (Arroz de Terras Altas) que pode ser utilizada em diversas condições de cultivo. Tem características favoráveis para ser utilizada em sistemas de produção de grãos, com alto potencial produtivo, resistência ao acamamento podendo ser cultivada em sistemas de produção mais tecnificados, fazendo parte de esquemas de rotação e sucessão de culturas, principalmente com a cultura da soja. A cultivar BRS A502 está aliada a intensificação sustentável da agricultura, apresentando qualidade industrial e culinária dos seus grãos.

Pesquisadores e produtores têm percebido, cada vez mais a importância da produção agrícola sustentável, buscando por meio de técnicas de manejo adequadas, reverter processos de degradação dos solos, com o intuito de manter as lavouras saudáveis, resilientes e sustentáveis



(Mendes *et al.*, 2020). Um solo saudável é um solo biologicamente ativo, produtivo, capaz de armazenar água, sequestrar carbono e promover a degradação de pesticidas, entre outros importantes serviços ambientais (Mendes *et al.*, 2020). O sistema de plantio direto com rotação de cultura (como a introdução do arroz no sistema de rotação) e uso de microrganismos multifuncionais, podem ser boas alternativas para a construção deste ambiente edáfico biologicamente mais ativo e saudável por meio do aumento do aporte de matéria orgânica sobre o solo. Assim, esse projeto objetiva estudar técnicas sustentáveis para proporcionar soluções adequadas aos agricultores e melhorar a imagem da agricultura goiana pelo uso de tecnologias ambientalmente amigáveis.

## **7 PERSPECTIVAS DA ORIZICULTURA NO CENTRO-OESTE BRASILEIRO**

O desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a produção de arroz em rotação de culturas, com o uso de microrganismos multifuncionais, proporcionando a redução no uso de agrotóxicos, menores custos e riscos de produção, e de forma sustentável causará enorme impacto nas regiões produtoras do estado de Goiás, por propiciar a produção de alimento saudável e tão importante na dieta dos brasileiros. Além disso, melhorará a imagem do Estado pelo desenvolvimento de tecnologia agrícola sustentável.

A produção agrícola sustentável, buscando o aproveitamento racional e a melhoria da saúde do solo de áreas já cultivado com outras culturas, o aumento da demanda do mercado e a disponibilidade de infraestrutura e de comercialização do produto tem despertado o interesse dos agricultores em expandir suas alternativas de produção.

Espera-se que com a implementação deste projeto seja possível obter tecnologia suficiente para consolidar a produção do arroz de terras altas em sucessão com a cultura da soja e antes da cultura do feijão-comum, viabilizando a expansão das áreas de cultivo de arroz no Cerrado brasileiro, beneficiando o setor agrícola em nível regional e nacional. Promovendo a difusão de práticas sustentáveis de cultivo e conferindo ao produtor rural a possibilidade de aumento da renda de sua propriedade por meio da diversificação de cultivos agrícolas.



## 8 CONCLUSÃO

O cerrado, com sua vasta extensão e potencial agrícola, representa uma oportunidade estratégica para a expansão da cultura do arroz no Brasil. Historicamente concentrada em regiões de cultivo irrigado, a produção nacional enfrenta desafios como o alto consumo de água e a vulnerabilidade a mudanças climáticas. O arroz de terras altas surge como uma resposta inovadora e sustentável a esses problemas, especialmente no contexto do cerrado, um bioma que se mostra cada vez mais crucial para a segurança alimentar do país.

O arroz de terras altas se adapta bem aos solos e condições climáticas do cerrado, exigindo menos água que os sistemas irrigados. Isso não apenas preserva os recursos hídricos, mas também torna o cultivo mais econômico para os agricultores. A introdução do arroz em sistemas de rotação de culturas, como com a soja e o milho, é um passo fundamental para aumentar a produtividade e a sustentabilidade no cerrado. Essa prática ajuda a diversificar a produção, quebra o ciclo de pragas e doenças e melhora a saúde do solo.

Para maximizar o potencial do arroz de terras altas, é preciso adotar práticas agrícolas inovadoras. Isso inclui o desenvolvimento e uso de variedades de arroz mais adaptadas ao ambiente, o manejo integrado de pragas e doenças, e a aplicação de tecnologias de conservação. O texto destaca o papel vital dos microrganismos multifuncionais como uma alternativa aos agroquímicos. Esses bioinsumos podem atuar como promotores de crescimento de plantas, fixadores de nitrogênio e agentes de controle biológico, reduzindo a dependência de produtos sintéticos e os impactos ambientais.

É inegável que a expansão da cultura do arroz no cerrado enfrenta desafios, como o manejo de plantas daninhas e a persistência de herbicidas no solo. No entanto, esses obstáculos podem ser superados com pesquisa e tecnologia. É preciso investir em estudos que melhorem o manejo de herbicidas, avaliem seus efeitos residuais e promovam o uso de bioinsumos. Políticas públicas que apoiem a pesquisa e incentivem a adoção de práticas agrícolas sustentáveis são essenciais para construir um futuro próspero para a orizicultura no cerrado.

Ao adotar uma abordagem consciente e inovadora, o cultivo do arroz no cerrado pode se tornar um exemplo de como a agricultura pode ser economicamente viável e, ao mesmo tempo, ambientalmente responsável. A expansão dessa cultura não só fortalecerá a economia local e



nacional, mas também contribuirá para a preservação do "berço das águas" e de sua biodiversidade.



## REFERÊNCIAS

ARAUJO, F. C. DE *et al.* Cover crops and multifunctional microorganisms can affect development of upland rice. **Australian Journal of Crop Science**, n. 15(01):2021, p. 137–144, 2 jan. 2021.

ARMAS, E. D. DE. **Biogeodinâmica de herbicidas utilizados em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na sub-bacia do rio Corumbataí**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 28 ago. 2006.

ARUNIMA, P. *et al.* Rice productivity under different weed management and establishment methods. **Indian Journal of Weed Science**, v. 49, n. 1, p. 5–9, 2017.

ASMUTI, A.; TJANDRA, A. LAND CREATIONS AND FARMING SYSTEM TO INCREASE OF RICE PRODUCTIVITY AND FARMER'S INCOME (CASE STUDY IN BATANG TAMPO IRRIGATION SYSTEM - LINTAU BUO). **Jurnal Solum**, v. 17, n. 2, p. 42, 25 nov. 2020.

BARREDA, D., PARDO, G., OSCA, J. M., CATALA-FORNER, M., CONSOLA, S., GARNICA, I., ... & OSUNA, M. D. An overview of rice cultivation in Spain and the management of herbicide-resistant weeds. **Agronomy Journal**, v. 11, n. 6, p. 1095, 2021.

BONATERRA, A. *et al.* Prospects and limitations of microbial pesticides for control of bacterial and fungal pomefruit tree diseases. **Trees - Structure and Function**, v. 26, n. 1, p. 215–226, 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 177, de 21 de setembro de 2017**. Dispõe sobre a proibição do ingrediente ativo paraquat em produtos agrotóxicos. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, n. 182, p. 45-47, 22 set. 2017.

BUNDT, A. D. C. *et al.* Transporte ascendente da mistura formulada de imazethapyr e imazapic em resposta à profundidade do lençol freático. **Ciência Rural**, v. 43, n. 9, p. 1597–1604, 6 ago. 2013.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C.; KLINK, U. P. Influência do tipo e da quantidade de resíduos vegetais na eficácia de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 111–120, 2007.

AMARAL, U. DO *et al.* Phytotoxicity of Herbicides in Seedlings of Sweet Passion Fruit. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 9, p. 423, 13 ago. 2018.

ERAWAN, W. Management of Rice Field Through Water Arrangements to Improve Rice Production. **Journal of Research and Multidisciplinary**, v. 3, n. 1, p. 261–266, 2020.

FERNANDES, C. L. F. *et al.* Distribution of pesticides in agricultural and urban soils of Brazil: a critical review. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 22, n. 2, p. 256–270, 2020.



- FERNANDES, J. P. T. *et al.* Upland rice seedling performance promoted by multifunctional microorganisms. **Semina: Ciências Agrárias**, p. 429–438, 19 jan. 2021.
- FERREIRA, C. M.; SANTIAGO, C. M. Informações técnicas sobre o arroz de terras altas: estados do Mato Grosso e Rondônia - safras 2010/2011 e 2011/2012. **Embrapa Arroz e Feijão**, v. 1, p. 112, 2012.
- FIRMINO, L. E. *et al.* Movimento do herbicida imazapyr no perfil de solos tropicais. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 223–230, mar. 2008.
- FURTINI, I. V.; BRESEGHELLO, F.; CASTRO, A. P. DE. Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma agropecuária sustentável. In: **Recursos genéticos e melhoramento vegetal: Melhoramento de arroz de terras altas no Mato Grosso**. 1. ed. Brasília: Distrito Federal: [s.n.]. p. 609–618.
- GAMA, A. F. *et al.* Occurrence, distribution, and fate of pesticides in an intensive farming region in the Brazilian semi-arid tropics (Jaguaribe River, Ceará). **Journal of Soils and Sediments**, v. 17, n. 4, p. 1160–1169, 1 abr. 2017.
- GURVICH, D. E. The Use of Herbicides in South American Dry Forests to Control Shrub Encroachment: a New Threat to Cactus Species? A First Assessment. **Haseltonia**, v. 2019, n. 26, p. 39, 26 fev. 2020.
- HELGUEIRA, D. B. *et al.* Leaching of Imidazolinones in Irrigation Systems in Rice Cultivation: Sprinkling and Flooding. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.
- INOUE, M. H. *et al.* Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 313–323, ago. 2003.
- ISMAIL, B. S., SAMENI, M., & HALIMAH, M. Comparison of the mobility of the herbicides 2, 4-D and 14C-paraquat in selected Malaysian agricultural soils. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 3, n. 4, p. 1–9, 2013.
- ISMAIL, S. N. F.; ABDULLAH, A. S. Recent Developments of Weed Management in Rice Fields. **Reviews in Agricultural Science**, v. 8, p. 343–353, 2020.
- KAUR, S., SINGH, S., & PHUTELA, R. P. Effect of herbicides on soil microorganisms in direct-seeded rice. **Indian Journal of Weed Science**, v. 46, n. 3, p. 223–229, 2014.
- KAUR, S.; KAUR, T.; BHULLAR, M. S. Herbicides combinations for control of complex weed flora in transplanted rice. **Indian Journal of Weed Science**, v. 48, n. 3, p. 247, 2016.
- KUMAR, R., BADIYALA, D., SHARMA, N., & GAUTAM, S. Effect of long-term application of herbicides on soil microbial demography in rice-wheat cropping sequence. **Indian Journal of Weed Science**, v. 47, n. 1, p. 71–74, 2015.
- KUMAR, N. *et al.* Challenges and opportunities in productivity and sustainability of rice cultivation system: a critical review in Indian perspective. **Cereal Research Communications**, v. 50, n. 4, p. 573–601, 8 dez. 2022.



KUMAR, V.; MAHAJAN, G.; CHAUHAN, B. S. Rice Weeds and Their Management. In: **Rice Production Worldwide**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 361–392.

MARCHESAN, E. *et al.* Rice herbicide monitoring in two Brazilian rivers during the rice growing season. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 2, p. 131–137, 2007.

MEHDIZADEH, M. *et al.* Herbicide Residues in Agroecosystems: Fate, Detection, and Effect on Non-Target Plants. **Reviews in Agricultural Science**, v. 9, p. 157–167, 2021.

MENDES, I. C. *et al.* **Bioanálise de solo: a mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola** **Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia**. Piracicaba: SP: [s.n.].

MENDES, K. F.; REIS, R. DE C. D. M. R. DOS R. Carryover e persistência de herbicidas em solos. **Brazilian Weed Science Society**, n. November, 2017.

METCALFE, H. *et al.* The implications of spatially variable pre-emergence herbicide efficacy for weed management. **Pest Management Science**, v. 74, n. 3, p. 755–765, 14 mar. 2018.

MILOSEVIC, N.; GOVEDARICA, M. Effect of herbicides on microbiological properties of soil. **Zbornik Matice srpske za prirodne nauke**, n. 102, p. 5–21, 2002.

MINGOTI, R.; SPADOTTO, C. A.; MORAES, D. A. DE C. Suscetibilidade à contaminação da água subterrânea em função de propriedades dos solos no Cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1252–1260, set. 2016.

NASCENTE, A. S. *et al.* Cultivares de arroz de terras altas afetadas pelo manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 428–434, 2013.

NASCENTE, A. S. *et al.* Effects of beneficial microorganisms on lowland rice development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 32, p. 25233–25242, 2017a.

NASCENTE, A. S. *et al.* Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 3, p. 2956–2965, 14 jan. 2017b.

NASCENTE, A. S. *et al.* Upland rice gas exchange, nutrient uptake and grain yield as affected by potassium fertilization and inoculation of the diazotrophic bacteria *Serratia* spp. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 6, p. 944–953, 2019a.

NASCENTE, A. S. *et al.* Upland rice gas exchange, nutrient uptake and grain yield as affected by potassium fertilization and inoculation of the diazotrophic bacteria *Serratia* spp. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 6, p. 944–953, 1 jun. 2019b.

NEUFELDT, H.; RESCK, D. V. .; AYARZA, M. A. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. **Geoderma**, v. 107, n. 3–4, p. 151–164, jun. 2002.

NOGUEIRA, E. N. *et al.* Currently used pesticides in water matrices in Central-Western Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 8, p. 1476–1487, ago. 2012.



- OLIVEIRA, M. A. P. *et al.* Soybean as bioindicator of residual effect of 2,4-D herbicide in an oxisol from the Brazilian cerrado. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 1, p. 35–41, 5 jan. 2017.
- OLIVEIRA, R. S.; KOSKINEN, W. C.; FERREIRA, F. A. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. **Weed Research**, v. 41, n. 2, p. 97–110, 15 abr. 2001.
- OPEÑA, J. L. *et al.* Weed population dynamics, herbicide efficacies, and crop performance in a sprinkler-irrigated maize-rice cropping system. **Field Crops Research**, v. 167, p. 119–130, out. 2014.
- PACHECO, L. P. **Arroz de terras altas cultivado em sucessão a plantas de cobertura em sistemas de manejo do solo**. [s.l.] Universidade Federal de Goiás, 2009.
- PARTHIPAN, T.; RAVI, V. Productivity of transplanted rice as influenced by weed control methods. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 16, p. 1445–1449, 21 abr. 2016.
- POLEZA, F. *et al.* AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE AGUDA PARA O ORGANISMO-TESTE *Vibrio Fischeri* DOS PRINCIPAIS HERBICIDAS E INSETICIDAS APLICADOS NA LAVOURA DE ARROZ IRRIGADO DOS ESTADOS DE SANTA CATARINA E RIO GRANDE DO SUL. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 18, 31 dez. 2008.
- PRIMEL, E. G. *et al.* Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: predição teórica e monitoramento. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 605–609, ago. 2005.
- RANGEL, P. H. N. *et al.* BRS A501 CL : herbicide-tolerant upland rice cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 1–3, 2020.
- REIS, F. C. *et al.* Use of Herbicides in Sugarcane in the São Paulo State. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.
- REZENDE, C. C. *et al.* Physiological and agronomic characteristics of the common bean as affected by multifunctional microorganisms. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 599–618, 24 fev. 2021.
- ROCHA, M. I. S., & NASCIMENTO, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1220–1235, 2021.
- SANTOS, G. G. *et al.* Are Chemical Properties of the Soil Influenced by Cover Crops in the Cerrado/Caatinga Ecotone? **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n. 1, p. 89–103, 2 jan. 2022.
- SILVA, M. A. S., STONE, L. F., DOS SANTOS, A. B., CARVALHO, M. D. C. S., FERREIRA, C. M., NASCENTE, A. S., ... & SANTOS, B. M. Adubação do arroz irrigado com N, P e K em várzeas do Cerrado. **Embrapa Arroz e Feijão**, 2020.



SILVA, D. R. O. DA *et al.* Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolas no sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2383–2389, dez. 2009.

SILVA, M. A. *et al.* Screening of Beneficial Microorganisms to Improve Soybean Growth and Yield. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, 2020.

SINGH, G. *et al.* Cover crops and topography differentially influence weeds at a watershed scale. **Weed Technology**, v. 34, n. May, p. 73–81, 2020.

SONDHIA, S.; WASEEM, U. Residue dynamics and degradation behaviour of pyrazosulfuron-ethyl in the rice field environment. **Indian Journal of Weed Science**, v. 52, n. 4, p. 362–365, 2020.

SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; PINTO, J. J. O. Crescimento de espécies bioindicadores do residual do herbicida (Imazethapyr + Imazapic), semeadas em rotação com arroz Clearfield. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 105–111, 2012.

SPADOTTO, C.; HORNSBY, A.; GOMES, M. Sorption and Leaching Potential of Acidic Herbicides in Brazilian Soils. **Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 40, n. 1, p. 29–37, 1 jan. 2005.

TAKESHITA, V. *et al.* Effect of Organic Matter on the Behavior and Control Effectiveness of Herbicides in Soil. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

TUDARARO-AHEROBO, L. E.; ATAIKIRU, T. L. Effects of Chronic Use of Herbicides on Soil Physicochemical and Microbiological Characteristics. **Microbiology Research Journal International**, p. 9–19, 5 jun. 2020.

ULGUIM, A. R. *et al.* Status of weed control in imidazolinone-herbicide resistant rice in Rio Grande do Sul. **Advances in Weed Science**, v. 39, 21 abr. 2021.

VILLALOBOS, F. J.; FERERES, E. Application of Herbicides and Other Biotic Control Agents. In: **Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 471–485.

ZAIDAN, Ú. R. *et al.* Multi-mixture herbicides provide management strategies in the control of the aquatic weed *Heteranthera reniformis*. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 24, n. 2, p. 137–144, 19 mar. 2021.