

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CÂMPUS DE DRACENA**

Lorayni de Jesus Meneses

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE INDUTORES DE RESISTÊNCIA
NA FISIOLOGIA E PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE
TERRAS ALTAS**

Dracena

2025

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CÂMPUS DE DRACENA**

Lorayni de Jesus Menêses

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE INDUTORES DE RESISTÊNCIA
NA FISIOLOGIA E PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE
TERRAS ALTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Ciências Agrárias e
Tecnológicas – Unesp, Câmpus de Dracena
como parte das exigências para obtenção do
título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Ferrari

Dracena

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "EFEITO DA APLICAÇÃO DE INDUTORES DE RESISTÊNCIA NA FISIOLÓGIA E PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE TERRAS ALTAS"

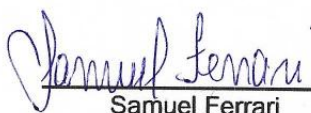
Modalidade: Trabalho de atividade de pesquisa.

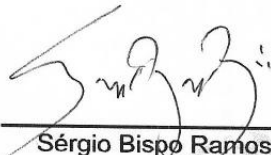
Autor: Lorayni de Jesus Meneses

Orientador: Prof. Dr. Samuel Ferrari

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 30/05/2025


Samuel Ferrari


Sérgio Bispo Ramos


Reges Heinrichs

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Maria de Fátima de Jesus Meneses, que abandonou seus próprios sonhos para que eu pudesse viver os meus — e pôde realizar este ao meu lado.

Ao meu pai, José Ailton Meneses, que, com as mãos firmes no volante e mesmo sem conhecer o asfalto dos meus sonhos, abriu caminho para que eu pudesse segui-los em segurança.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, Senhor, por escrever meu caminho de forma tão linda, ainda que, por vezes, eu mesma tenha tornado as linhas tortas. Estendo minha gratidão a São Miguel Arcanjo, que me defendeu e continua a me defender em todos os combates.

À minha mãe, Maria de Fátima de Jesus Meneses, que esteve ao meu lado em todos os momentos, desde o abraço alegre e orgulhoso no dia da aprovação no vestibular até as madrugadas frias e molhadas em que fazíamos juntas chover sobre os meus experimentos. Ao meu pai, José Ailton Meneses, que, mesmo de longe, sempre deu tudo de si para que não nos faltasse nada.

Aos meus irmãos, Leticia e Iago de Jesus Meneses, que moldaram meu caráter ao me ensinarem a dividir e por, ainda que sem perceber, me mostrarem que, sempre que eu precisar voltar, é neles que encontrarei um lar. À minha sobrinha, Cecília Meneses Cardoso, que, ao nascer, deu nova vida à nossa família.

Ao meu avô, Antônio Paulino de Jesus (*in memoriam*), e a minha avó, Maria do Céu Santana de Jesus (*in memoriam*), que são minhas estrelas preferidas e estão ao lado do Pai, olhando por mim.

A todos os meus amigos, além dos agradecimentos, ofereço também um abraço, um sorriso e um brinde. Vocês tornaram o caminho mais leve, mais feliz e, sem dúvida, mais fácil. À Isabela Vitória de Paula Moretti, desejo bons voos e agradeço por não ter sido apenas uma passageira na minha vida, você é especial. À Yeda Caroline Zanon de Almeida, obrigada por todas as vezes em que me ajudou e cuidou de mim com tanto amor. À Maria Clara Scanholato Basso, obrigada por me arrancar os sorrisos mais sinceros. À Isabelle Evangelista do Nascimento, obrigada por acreditar mais em mim do que eu mesma já acreditei. Ao Murilo Sampaio Bassi Janegitz, obrigada por sonhar comigo e por me colocar de volta no eixo todas as vezes em que precisei.

Aos meus professores da graduação, que sempre me acolheram e me incentivaram a ir mais longe, que viram em mim potencial e me ajudaram a lapidá-lo com o aprendizado. Aos grupos dos quais já participei (GERUD, GENAP, GECANA, N.E.T.A.), e em especial ao TECH AGRO e ao meu orientador, Prof. Dr. Samuel Ferrari.

Agradeço também a Pró-Reitoria de Pesquisa - Coordenação de Iniciação Científica e Tecnológica da Unesp, por financiar com bolsa este projeto.

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos.” (Provérbios 16:3).

RESUMO

O arroz de terras altas é cultivado em ambientes com limitação hídrica, sendo uma alternativa viável para regiões onde o uso de irrigação é restrito. Contudo, a exposição a estresses bióticos e abióticos pode comprometer o desempenho fisiológico e a produtividade da cultura. Nesse contexto, o uso de indutores de resistência surge como uma estratégia promissora por estimular mecanismos naturais de defesa nas plantas. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de um indutor de resistência comercial, aplicado isoladamente e em combinação com silício, sobre a fisiologia e a produtividade do arroz de terras altas. O experimento foi conduzido a campo, em delineamento de blocos casualizados, com esquema fatorial 5×2 (cinco doses $\times$ presença ou ausência de silício), com quatro repetições. Foram realizadas avaliações fenológicas, morfológicas, fisiológicas, de biomassa, fitossanitárias e produtivas. Os resultados indicaram que o uso de silício associado a doses moderadas do indutor favoreceu o estado fisiológico das plantas, com aumento nos teores de clorofila e melhor acúmulo de biomassa seca. A produtividade foi significativamente alterada na ausência do silício, além disso houve indicativos de respostas positivas na formação de grãos. Assim, o manejo com indutores, especialmente em combinação com silício, apresenta potencial como estratégia sustentável para o cultivo de arroz em sistema de sequeiro.

Palavras-chave: Silício. Defesa das plantas. Nutrição. Estresse fisiológico.

ABSTRACT

Upland rice is cultivated in environments with limited water availability and represents a viable alternative for regions where irrigation is restricted. However, exposure to biotic and abiotic stresses can compromise the physiological performance and yield of the crop. In this context, the use of resistance inducers emerges as a promising strategy by stimulating the plant's natural defense mechanisms. This study aimed to evaluate the effects of applying different doses of a commercial resistance inducer, applied alone and in combination with silicon, on the physiology and productivity of upland rice. The field experiment was conducted in a randomized block design, using a 5×2 factorial scheme (five doses $\times$ presence or absence of silicon), with four replications. Phenological, morphological, physiological, biomass, phytosanitary, and yield components were evaluated. Results indicated that silicon associated with moderate doses of the inducer improved the physiological status of the plants, increasing chlorophyll content and promoting greater dry biomass accumulation. Productivity was significantly affected in the absence of silicon; moreover, there were indications of positive responses in grain formation. Therefore, the use of resistance inducers, particularly when combined with silicon, shows potential as a sustainable strategy for upland rice cultivation under rainfed conditions.

Keywords: Silicon. Plant defense. Nutrition. Physiological stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem aérea da área experimental	25
Figura 2 - Aplicação dos tratamentos no estágio V4.....	28
Figura 3 - Aplicação dos tratamentos no estágio V8.....	28
Figura 4 - Aplicação dos tratamentos no emborrachamento do arroz	29
Figura 5 - Adubação de plantio e abertura do sulco de semeadura.....	30
Figura 6 - Sementes no sulco de semeadura	30
Figura 7 - Condições climáticas durante condução do experimento.....	31
Figura 8 - Momento da colheita	33
Figura 9 - Panículas colhidas na secagem natural	33
Figura 10 - Floração plena do arroz	34
Figura 11 - Panícula de arroz maturada	35
Figura 12 - Avaliação da altura das plantas.....	35
Figura 13 - Processo para obtenção da massa seca	36
Figura 14 - Leitura SPAD.....	37
Figura 15 - Avaliação de severidade de doença.....	38
Figura 16 - Contagem de grãos.....	38
Figura 17 - Peso de grãos em casca.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de arroz nos países do MERCOSUL.....	18
Tabela 2 - Caracterização dos atributos químicos do solo.....	26
Tabela 3 - Tratamentos experimentais.....	27
Tabela 4 - Manejo químico utilizado durante o ciclo da cultura.....	32
Tabela 5 - Índice de clorofila foliar (SPAD), altura de plantas e grau de acamamento do arroz de terras altas em função de doses de produto comercial indutor de resistência e uso de silício.....	42
Tabela 6 - Desdobramento do índice SPAD para interação entre uso de silício e doses de indutor de resistência comercial.....	43
Tabela 7 - Matéria fresca e matéria seca do arroz em função de doses de produto comercial indutor de resistência e uso de silício.....	44
Tabela 8 - Severidade da mancha-parda no arroz em função de doses de indutor de resistência comercial e uso de silício.....	45
Tabela 9 - Grãos cheios e grãos inviáveis por panícula, massa de 100 grãos e produtividade do arroz de terras altas em função de doses de indutor de resistência comercial e uso de silício.....	47
Tabela 10 - Desdobramento da interação entre uso de silício e doses de indutor de resistência comercial no arroz de terras altas para quantidade de grãos cheios por panícula.....	49
Tabela 11 - Desdobramento da interação entre silício e doses de indutor de resistência comercial no arroz para grãos inviáveis.....	51

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
I.A	Ingrediente ativo
R3	Estádio reprodutivo onde ocorre emissão da panícula na bainha
R4	Estádio reprodutivo onde ocorre a antese
SAR	Resistência Sistêmica Adquirida
V4	Estádio vegetativo do arroz onde ocorre formação do colar da 4ª folha
V8	Estádio vegetativo do arroz onde ocorre formação do colar da 8ª folha

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
®	Marca registrada
°C	Grau Celsius
cm	Centímetros
Cu	Cobre
dm ⁻¹	Decímetro
g	Gramas
ha ⁻¹	Hectare
Kcal	Quilocaloria
Kg	Quilograma
m	Metros
m ²	Metro quadrado
mg	Miligrama
mL	Mililitro
mm	Milímetro
mmolc	Milimol de carga
N	Nitrogênio
Si	Silício
t	Tonelada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.1 Objetivos Específicos	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Importância socioeconômica do arroz	17
3.2 Cultivo de arroz de terras altas e característica da cultivar BRS A502	18
3.3 Fatores de estresse no arroz e seus impactos na produtividade	19
3.4 Indutores de resistência: conceito e mecanismos de ação	21
3.5 Nutrientes como indutores de resistência: Cu, N e Si	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Local e caracterização da área experimental	25
4.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos	26
4.3 Manejo e tratos culturais	29
4.4 Avaliações	34
4.5 Análise estatística	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) possui grande importância em todo o cenário mundial, sendo um dos cereais de maior produção e consumo global (Conab, 2015). No Brasil, a safra de grãos 24/25 foi estimada em 330,3 milhões de toneladas, das quais 12,1 milhões de toneladas correspondem à produção do arroz (Conab, 2025). Esses dados colocam o país na nona posição entre os maiores produtores mundiais, sendo o maior fora da Ásia (Embrapa, 2025). Os sistemas de cultivo de arroz no Brasil possibilitam a produção através de duas maneiras: com irrigação, através de inundação controlada, ou pelo sistema de cultivo em terras altas, conhecido como arroz de sequeiro.

A produtividade média do arroz irrigado atinge cerca de 8 t ha^{-1} , enquanto a do arroz de terras altas ultrapassa pouco mais de $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ (Embrapa, 2025). Ainda que o arroz cultivado como sequeiro demonstre uma produtividade menor quando comparado ao de sistema irrigado, o cultivo em terras altas apresenta relevantes qualidades, como a redução da demanda para insumos e expressiva tolerância a solos ácidos, assim como boa adaptação a solos corrigidos (Ferreira; Villar, 2005, *apud* Pinto, 2018). Além disso, o cultivo em terras altas pode proporcionar a recuperação da fertilidade do solo em áreas de pastagem degradada ou servir como estratégia para compor a rotação de culturas (Embrapa, 2022). Adicionalmente, os avanços biotecnológicos permitiram que cultivares de arroz desenvolvidas para o sistema de sequeiro apresentem um satisfatório desenvolvimento no campo e excelente qualidade do grão.

Entretanto, fatores bióticos e abióticos presentes no ambiente de cultivo de sequeiro podem causar estresse nas plantas, afetando diretamente os índices produtivos do arroz. Condições atmosféricas instáveis durante a safra, associadas à ocorrência de pragas e doenças, desencadeiam quedas na produtividade (Embrapa, 2023). Diante da inferioridade evidente na produtividade do arroz de terras altas quando comparado com o arroz irrigado, e considerando a crescente necessidade do aumento da produção agrícola visando suprir a demanda global, destaca-se a importância da expansão e uso de tecnologias sustentáveis e eficientes para aumentar o desempenho da cultura.

A resistência das plantas a fatores de estresse pode ocorrer de forma natural, como resposta à exposição a condições adversas, assim como pode ser induzida

por fatores ambientais, como a nutrição mineral que pode ser facilmente manipulada. De acordo com Zambolim e Ventura (1993), concentrações elevadas de cobre nos tecidos vegetais provocam a inibição das atividades de peroxidase e catalase, resultando no acúmulo de peróxidos e compostos fenólicos, que por sua vez apresentam propriedades bactericidas, contribuindo para o aumento da resistência da planta. Segundo Marschner (1995), o crescimento pleno de uma planta está diretamente ligado ao fornecimento adequado de nutrientes, o que também contribui para a resistência. Nas plantas o nitrogênio desempenha papéis fundamentais, especialmente no desenvolvimento vegetativo, haja vista que de 2 a 5% da matéria seca é constituída por N (Carvalho; Moreira, 2023). De acordo com Malavolta (2006), a deficiência desse nutriente pode acarretar a inibição da produção de alcaloides que possuem ação tóxica ao patógeno, assim como ocasionar o enfraquecimento da parede celular da planta, reduzindo a resistência a fatores de estresse. O mesmo autor destaca que o excesso de nitrogênio diminui o teor silício na planta, prejudicando a resistência mecânica a pragas.

Na planta, o Si pode atuar reduzindo taxas de transpiração, na formação de barreiras mecânicas contra patógenos, além de dificultar o ataque de pragas, especialmente aquelas que são mastigadoras ou sugadoras (Malavolta, 2006). A ação do elemento resulta em uma aparente melhora na resistência ao acamamento, redução do ataque por pragas, menor incidência de doenças e maior tolerância ao estresse biótico (Barbosa *et al.*, 2001; Menegale; Castro; Mascuso, 2015).

Dessa forma, considera-se que o uso de diferentes indutores de resistência representa uma estratégia de manejo sustentável e promissora para fortalecer a tolerância do arroz cultivado em sistema de sequeiro frente a fatores de estresse, sem comprometer sua produtividade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da aplicação de diferentes fontes e doses de indutores de resistência sobre o desempenho fisiológico e produtivo do arroz cultivado sob sistema de sequeiro.

2.1 Objetivos Específicos

- Verificar a influência dos indutores na resistência das plantas a fatores de estresse biótico e abiótico;
- Comparar o efeito do uso isolado e combinado de diferentes fontes de indutores de resistência;
- Identificar se o uso de indutores de resistência, como estratégia de manejo sustentável, contribui para o aumento da produtividade do arroz de terras altas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância socioeconômica do arroz

De acordo com Fao (2023), a produção global de arroz para a safra 23/24 foi estimada em 523,7 milhões de toneladas, com projeção de produção para a safra 24/25 de 543,6 milhões de toneladas (Fao, 2025). Entre os maiores produtores mundiais, destacam-se a Índia (147 milhões de toneladas), China (145,28 milhões de toneladas) e Bangladesh (36,6 milhões de toneladas) (Usda, 2024). Os dados apresentados reforçam que aproximadamente 90% do arroz que é produzido no planeta pertence ao continente Asiático, e é consumido por ele (Embrapa, 2025).

O arroz é considerado um alimento de grande relevância, principalmente em países em desenvolvimento, devido ao seu adequado balanço nutricional, podendo fornecer cerca de 20% da energia e 15% da proteína per capita necessárias para um humano adulto (Embrapa, 2025). Diante do seu grande valor nutricional, países da América do Sul também valorizam a presença do arroz em suas refeições, segundo a Fao (2023), esses países produziram juntos cerca de 24,2 milhões de toneladas de arroz. O expressivo volume de produção está diretamente ligado a uma demanda interna para o consumo na MERCOSUL, onde entende-se que o consumo está ligado a necessidade de reposição energética, como demonstra a Tabela 1, sobretudo entre trabalhadores que exercem atividades físicas intensas no campo ou na cidade, consolidando o arroz como um dos pilares da segurança alimentar regional (Embrapa, 2025).

A produção brasileira de arroz ocupa a nona posição entre os maiores produtores mundiais, sendo o maior fora da Ásia (Embrapa, 2025). No ano agrícola de 2023, o Brasil colheu aproximadamente 10,3 milhões de toneladas de arroz, cultivadas em uma área de cerca de 1,5 milhão de hectares, o que resultou em uma produtividade média de 6.939 kg ha⁻¹ (Embrapa, 2025). No mesmo período, o consumo médio de arroz beneficiado no Brasil foi estimado em cerca de 29,2 kg per capita, considerando que 58% dos grãos consumidos estavam limpos e inteiros (Embrapa, 2024).

Tabela 1 - Consumo de arroz nos países do MERCOSUL, em equivalência calórica e proteica, em 2022

País do Bloco	Consumo (1000 toneladas)	Demanda por calorias (Kcal/per capita/dia)	Demanda por proteína (g/per capita/dia)
Argentina	713,0	69,92	1,43
Bolívia	573,0	288,33	5,87
Brasil	10520,0	246,39	5,01
Chile	406,0	77,33	1,57
Colômbia	2951,0	260,32	5,3
Equador	1187,0	418,87	8,52
Paraguai	-71,0	35,92	0,73
Peru	3689,0	470,93	9,21
Uruguai	96,0	93,14	1,89
Venezuela	1360,0	285,72	5,81

Fonte: Dados da FAO/Food Balances (2022) - <http://faostat3.fao.org>. Adaptados por SILVA, O. F., na Embrapa Arroz e Feijão/Núcleo Temático de Socioeconomia. Acesso em 25 mar. 2025.

Para a safra 24/25 as estimativas mostram que serão produzidas 12,1 milhões de toneladas de arroz (Conab, 2025). O Brasil se destaca no cenário internacional por ser o único país em que os sistemas de cultivo irrigado e de sequeiro são explorados de forma complementar, permitindo o abastecimento da demanda interna (Embrapa, 2025).

3.2 Cultivo de arroz de terras altas e característica da cultivar BRS A502

Parâmetros de produção indicam que existe uma progressiva redução na área cultivada com arroz de sequeiro no Brasil, por consequência o sistema de arroz cultivado em sistema irrigado por inundação se destaca, especialmente na região sul do país (Embrapa, 2020). Apesar da retração na área destinada ao cultivo do arroz de sequeiro, esse sistema de cultivo ainda se mantém relevante em regiões do Cerrado e em áreas com restrições ao uso de irrigação, especialmente devido à sua menor demanda hídrica e menor custo de implantação (Embrapa, 2020). Nesses ambientes, o sucesso produtivo está fortemente condicionado à escolha de cultivares adaptadas às condições de estresse hídrico e à aplicação de práticas de

manejo eficientes, incluindo o uso de tecnologias que favoreçam a resistência fisiológica das plantas.

Dentre as cultivares mais recomendadas para o cultivo de arroz de sequeiro no Brasil, a BRS A502 se destaca por sua ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas. Lançada pela Embrapa, essa cultivar possui ciclo médio, com floração ocorrendo, em média, aos 76 dias após a emergência. A cultivar também apresenta elevado potencial produtivo (9.000 kg ha^{-1}) quando em condições ideais de manejo, com excelente qualidade de grãos, classificados como longo-finos, com baixo teor de grãos gessados (2,95%) e elevado rendimento de grãos inteiros, sobretudo quando colhida com umidade entre 20 e 22%. Agronomicamente, a cultivar BRS A502 apresenta alta resistência ao acamamento, além de resistência moderada à brusone e escaladura, embora exija atenção quanto à mancha-parda (Embrapa, 2020).

3.3 Fatores de estresse no arroz e seus impactos na produtividade

O estresse pode ser definido como a ocorrência de condições adversas impostas por fatores biológicos ou de um ambiente que comprometa o desenvolvimento adequado das plantas e resultem em algum dano (Didonet, 2009). As injúrias podem acarretar diversos problemas, dentre eles a queda na produtividade. O impacto do estresse na produtividade varia conforme a combinação de três elementos principais, o genótipo (base genética), o fenótipo (características fisiológicas e morfológicas) e as condições do ambiente no qual a planta se desenvolve, incluindo fatores bióticos e abióticos que influenciam significativamente no seu desenvolvimento (Souza; Barbosa, 2015).

3.3.1 Fatores bióticos

Por fatores bióticos podem ser associados à perturbação por organismos vivos. Agronomicamente esses organismos se destacam como pragas e doenças que estão presentes nas lavouras, e interferem em processos fisiológicos vegetais (Souza; Barbosa, 2015).

A presença de pragas nas lavouras reduz de forma expressiva a produção e produtividade de quaisquer culturas de interesse agrícola. No arroz, algumas pragas que se destacam quanto à ocorrência nas áreas de cultivo, dentre elas o percevejo

do colmo (*Tibraca limbativentris*), ocasiona o secamento das folhas centrais da planta e pode levar ao sintoma do “coração morto”, a cigarrinha-das-pastagens (*Deois flavopicta*), altos níveis de infestação podem ocasionar a seca das folhas e posteriormente a morte da planta, e a lagarta dos arrozais (*Spodoptera frugiperda*), leva a danos severos nas lavouras ao alimentar-se das folhas do arroz e também dos colmos das plantas jovens podendo consumi-las até no nível do solo (Arf, [s.d.]).

As doenças também ocasionam prejuízos expressivos para os arrozais, dentre as mais significativas para a cultura destaca-se a Brusone, causada pelo fungo *Pyricularia oryzae*, que provoca a necrose completa da parte infectada, inibindo a circulação de seiva e afetando toda a planta e os grãos (Prabhu; Bedendo, 1982). Outra doença importante é a Mancha Parda, normalmente surgindo na fase de floração e se manifestando nas folhas, causada pelo fungo *Helminthosporium oryzae*, pode ser altamente prejudicial para a produção e qualidade dos grãos (Prabhu; Bedendo, 1982).

3.3.2 Fatores abióticos

O estresse abiótico é mais expressivo com relação à redução da produtividade do arroz, destacando-se fatores climáticos como temperatura do ar, volume pluviométrico e fotoperíodo ao longo do ciclo da cultura (Conab, 2015).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (2015), a temperatura do ar possui forte influência na fisiologia do arroz, comprometendo seu crescimento, desenvolvimento e rendimento ao longo dos diferentes estádios fenológicos. Durante a floração as condições mais favoráveis de temperatura estão entre 30 °C e 33 °C, enquanto na fase de maturação temperaturas entre 20 °C e 25 °C são mais adequadas ao bom desempenho da cultura (Conab, 2015). Altas temperaturas, superiores a 35 °C, podem implicar em diversos problemas para a produtividade de grãos, dependendo da fase de desenvolvimento na qual a cultura se encontra. Na floração, o calor excessivo favorece a esterilidade das espiguetas, assim como em outras fases pode diminuir o período vegetativo da cultura e reduzir a qualidade do grão afetando a resistência ao polimento (Embrapa, 2023).

No cultivo de arroz em áreas de sequeiro, a produção depende essencialmente da pluviometria adequada. A falta de água, especialmente durante períodos críticos como a floração e o enchimento dos grãos, compromete severamente a produtividade (Conab, 2015). Períodos de estiagem de chuva,

também conhecidos como veranicos, são comuns em regiões produtoras de arroz de terras altas. O baixo índice pluviométrico na fase de floração, estádios R3/R4, pode ocasionar a esterilidade das espiguetas, e no período de enchimento de grãos a falta de água resultará em grãos mal formados (Embrapa, 2023).

O arroz é classificado como uma planta de dias curtos, atingindo seu fotoperíodo ótimo na faixa de 10 horas. Entretanto, este fator de estresse vem reduzindo seus impactos, quando em ocorrência isolada, por meio de cultivares que vem sendo melhoradas e se tornando, por vezes, insensíveis ao fotoperíodo (Embrapa, 2023). No ambiente de cultivo é comum que as plantas sejam submetidas a uma combinação de diferentes fatores estressantes, e não apenas a um único fator, o que leva a planta passar por diferentes níveis de estresse e, conseqüentemente, de resposta (Souza; Barbosa, 2015).

3.4 Indutores de resistência: conceito e mecanismos de ação

Os indutores de resistência atuam por meio da ativação de mecanismos naturais de defesa das plantas, seja através de elicitores ou pela expressão de genes responsáveis pela produção de compostos relacionados à resistência. Sua função é estimular a planta a reagir mais rapidamente e com maior eficiência quando estiver em situações de estresse (Garcia *et al.*, 2010). De maneira natural, as plantas possuem mecanismos para reagir a fatores de estresse. Esse processo de reação é ativado por uma cadeia de sinais que se iniciam quando a planta reconhece a presença de um agente estressante. A partir disso, são ativadas respostas que envolvem barreiras físicas e compostos químicos, com o objetivo de inibir o avanço do fator estressante (Embrapa, 2009).

A Resistência Sistêmica Adquirida (SAR) é um tipo de defesa ativada em plantas após a exposição a patógenos como fungos, bactérias ou vírus (Embrapa, 2009). Segundo a Embrapa (2009), para que esse mecanismo seja ativado, é necessário que a infecção inicial leve à formação de lesões necróticas, associadas ao acúmulo de peróxido de hidrogênio. De acordo com o mesmo autor, a partir disso uma cadeia de sinais moleculares passa a ser distribuída a outras partes da planta sob estresse, que em resposta direciona seus processos fisiológicos para a sintetização de agentes de defesa, como por exemplo as PR-Proteínas, e para a

formação de lignina, sendo todo o processo de SAR dependente da via do ácido salicílico.

Nos casos em que ocorre a resistência Sistêmica Induzida (RSI), não há acúmulo de proteínas do tipo PR-Proteínas e a planta induzida geralmente não apresenta sintomas como a necrose, tornando o agente responsável por essa indução um microrganismo não patogênico, que age através de rotas de sinalização reguladas por jasmonatos e etileno (Embrapa, 2008).

3.5 Nutrientes como indutores de resistência: Cu, N e Si

Segundo Malavolta (1980), a nutrição mineral, de forma básica, engloba três viés de estudo. O primeiro diz respeito a absorção dos elementos pelas plantas e sua adsorção no solo, o segundo refere-se ao transporte e transição do nutriente, e o terceiro faz referência ao papel que o elemento desempenha na planta. Alguns dos nutrientes, de forma mais expressiva, possuem a capacidade de influenciar, positiva ou negativamente, sobre processos metabólicos envolvidos na indução de resistência da planta a um fator de estresse (Zambolim; Ventura, 1993).

De acordo com Zambolim e Ventura (1993), a resistência da planta é guiada por fatores genéticos, entretanto pode ser ativada pela influência de fatores ambientais do meio, como a nutrição mineral. Segundo os mesmos autores, os elementos envolvidos na nutrição das plantas estão diretamente ligados aos processos de defesa, podendo participar das rotas metabólicas como integrantes principais, ativadores ou inibidores.

3.5.1 Cobre

Altas concentrações de cobre (Cu) nos tecidos vegetais provocam a inibição das atividades de peroxidase e catalase, resultando no acúmulo de peróxidos e compostos fenólicos, que por sua vez apresentam propriedades bactericidas, contribuindo para o aumento da resistência da planta (Zambolim; Ventura, 1993). Além do acúmulo de peróxidos, a presença de íons de Cu na planta pode favorecer a resistência através do aumento da síntese de demais compostos fenólicos que também possuem características bactericidas (Zambolim; Ventura, 1993). Segundo Malavolta (2006), o cobre também influencia na síntese de lignina presente na

parede celular, sua deficiência pode implicar na desorganização da membrana e diminuir a presença das células e proteínas da parede.

3.5.2 Nitrogênio

A relação do nitrogênio (N) com a resistência de plantas é controversa. Segundo Malavolta (2006), o N pode ser benéfico ou maléfico a pragas e doenças a depender da quantidade presente do elemento na planta. O excesso de nitrogênio ocasiona um desbalanço nutricional. Além disso, esse excesso leva a um aumento na quantidade de aminoácidos livres desencadeando certa dificuldade em realizar atividades de síntese proteica, prejudicando mecanismos de defesa contra insetos sugadores, e favorece a diluição do teor de silício, o que contribui para o dano de insetos mastigadores (Malavolta, 2006). Segundo Zambolim e Ventura (1993), o teor elevado de N também favorece o ataque de patógenos, pois resulta na presença de tecidos jovens e menos resistentes. Em contrapartida, segundo os mesmos autores, a deficiência desse macronutriente favorece igualmente a presença de patógenos, devido ao menor vigor da planta. Malavolta (1998), aponta outros problemas relacionados a deficiência de N, dentre eles a redução na produção de alcalóides tóxicos a agentes patogênicos e a diminuição da síntese de compostos considerados prejudiciais ao agente causal. O nitrogênio está envolvido com a produção de aminoácidos e proteínas, assim como participa da síntese de fitoalexinas e fenóis (Tomazela *et al.*, 2006). Diante disso é importante que o fornecimento dos nutrientes seja adequado, a fim de que estes favoreçam e induzam a planta a resistência.

3.5.3 Silício

O segundo elemento mais abundante da crosta terrestre é o Silício (Si). Segundo Malavolta (1980), de maneira geral, esse elemento apresenta funções expressivas na resistência das plantas a fatores de estresse. Ainda existem discussões a respeito definição correta do elemento, sendo considerado benéfico por alguns, essencial para outros e não essencial para demais (Malavolta, 1980). Entretanto, na Instrução Normativa nº 39/2018, em seu Art. 4º, inciso III, publicado pelo MAPA, o silício está presente na lista de micronutrientes e segue nesse grupo em demais documentos expedidos. No geral as gramíneas são altamente

acumuladoras de Si, especialmente o arroz, deste modo o elemento pode ser considerado essencial para essas plantas (Malavolta, 1980).

Segundo Malavolta (2006), o Si está presente já nas camadas primárias da parede celular das plantas, onde se agrupa a proteínas e polifenóis favorecendo a elasticidade da parede celular no início do desenvolvimento da cultura. De acordo com Zambolim e Ventura (1993), a presença de silício na parede celular da epiderme é significativa quanto a resistência a pragas e doenças. O silício reduz a taxa de transpiração nas plantas, servindo também como uma forma de barreira mecânica que impede o ataque de patógenos e de pragas sugadoras (Malavolta, 2006). A indução de resistência do silício é resultado do favorecimento do acúmulo de sílica, e da associação do elemento a constituintes de parede celular que não sofrem degradação de enzimas (Malavolta, 2006). Além disso, Malavolta (1980) descreve que a presença do Si ocasiona a produção de Si-fenóis que elevam a quitinase e podem degradar estruturas presentes nos fungos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido a campo, visando representar condições reais de cultivo, conforme Figura 1. A instalação ocorreu na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), situada no município de Dracena – São Paulo, cujas coordenadas geográficas representam latitude 21° 29' S e longitude 51° 52' W, com altitude aproximada de 400 m acima do nível do mar, e topografia entre suave e ondulada. O clima é caracterizado como tropical semiúmido sendo tipo Aw na classificação climática de Köppen-Geiger, com temperatura média de 24 °C, umidade relativa de 64,23% e precipitação pluvial média de 1.261 mm ano⁻¹. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018), de textura arenosa.

Figura 1 – Imagem aérea obtida por drone da área experimental com cultivo de arroz de terras altas (safra 2024/2025), destacada em vermelho, na FCAT/UNESP



Fonte: Emanuel Bispo Ramos (2025).

Na safra anterior (2023/2024), a área experimental foi cultivada com algodão (*Gossypium hirsutum* L.). Considerando o histórico de uso e visando à caracterização dos atributos químicos do solo, segundo Raij *et al.* (2001), foi realizada uma análise na camada de 0–20 cm, previamente à instalação do experimento. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos atributos químicos do solo na camada de 0–20 cm da área experimental

Atributos químicos do solo	Unidade	Camada 0-20 cm
P - Resina (Fósforo)	mg dm ⁻³	34
MO (Matéria Orgânica)	g dm ⁻³	13
pH - CaCl ₂		6.0
K (Potássio)	mmol _c dm ⁻³	3.6
Ca (Cálcio)	mmol _c dm ⁻³	23
Mg (Magnésio)	mmol _c dm ⁻³	11
H ⁺ +Al ³⁺ (Acidez potencial)	mmol _c dm ⁻³	10
Al (Alumínio)	mmol _c dm ⁻³	0
SB (Soma de bases)	mmol _c dm ⁻³	37.6
S (SO ₄) (Enxofre)	mg dm ⁻³	9
CTC (Cap. de troca catiônica)	mmol _c dm ⁻³	47.6
V (Saturação por bases)	%	79
Ca/CTC	%	48
Mg/CTC	%	23
m (Saturação por alumínio)	%	0
B (Boro)	mg dm ⁻³	0.06
Cu (Cobre)	mg dm ⁻³	1.5
Fe (Ferro)	mg dm ⁻³	12
Mn (Manganês)	mg dm ⁻³	12.1
Zn (Zinco)	mg dm ⁻³	3.4

Fonte: Laboratório de fertilidade do solo da FEIS. Adaptado pela autora (2024).

4.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 5 × 2, totalizando 10 tratamentos com quatro repetições cada, dispostos em 40 parcelas. As parcelas foram formadas por 5 linhas com 6,0 m de comprimento, espaçadas com 0,40 m entre si, totalizando 12,0 m² por parcela e

480,0 m² de área experimental. A área útil de cada parcela foi constituída pelas 3 linhas centrais, desprezando 0,50 m em ambas as extremidades de cada linha.

Os tratamentos consistiram na aplicação de cinco doses (0, 200, 400, 800 e 1200 mL ha⁻¹) de um produto comercial indutor de resistência à base de cobre (130 g L⁻¹ de Cu solúvel), nitrogênio (54,60 g L⁻¹ de N solúvel), e íons de ácido 5-sulfosalicílico, aplicados isoladamente ou em combinação com silício solúvel (composição com 28% de silício), na dose de 300 g ha⁻¹ por aplicação, totalizando 900 g ha⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3 – Tratamentos aplicados na área experimental do arroz de terras altas, Dracena-SP, safra 2024/25

Tratamento	Dose produto comercial (mL ha⁻¹)	Dose de Si (g ha⁻¹)
1	0	0
2	200	0
3	400	0
4	800	0
5	1200	0
6	0	900
7	200	900
8	400	900
9	800	900
10	1200	900

Fonte: Elaborado pela própria autora (2024).

As aplicações foram realizadas na forma de jato dirigido, com pulverizador tipo costal de CO² com pressão e vazão de 200 L ha⁻¹, munido de barra de aplicação de alumínio com 4 bicos espaçados com 50 cm entre bicos. As aplicações foram realizadas preferencialmente em momentos com pouca incidência de vento, quando as plantas de arroz estavam em estágio fenológico V4 (13 de dezembro de 2024), V8 (31 de dezembro de 2024) e na fase de emborrachamento (28 de janeiro de 2025), conforme figuras 2, 3 e 4.

Figura 2 – Aplicação foliar dos tratamentos no estágio V4 da cultura do arroz



Fonte: Acervo da autora (2024).

Figura 3 – Aplicação foliar dos tratamentos no estágio V8 da cultura do arroz



Fonte: Acervo da autora (2024).

Figura 4 – Aplicação dos tratamentos na fase de emborrachamento do arroz



Fonte: Acervo da autora (2025).

4.3 Manejo e tratos culturais

Antes da instalação da cultura, em agosto de 2024, o solo foi preparado de forma convencional, com uma aração com arado de aiveca seguida de duas gradagens.

No dia 8 de novembro de 2024, foi realizado o tratamento das sementes com o produto comercial Standak® Top, que possui ação fungicida e inseticida. Na mesma data, foi feita uma aplicação de glifosato na área experimental, na dose de 4 L ha⁻¹, para o controle das plantas daninhas presentes antes da semeadura.

A semeadura foi realizada manualmente no dia 12 de novembro de 2024. No entanto, a abertura dos sulcos de plantio e a adubação foram realizadas com auxílio de maquinário (Figura 5). A adubação de plantio foi realizada com a aplicação do formulado 08-28-16 (N-P-K), na dose de 200 kg ha⁻¹, equivalente a 8 g m⁻¹, sendo o fertilizante depositado ao lado e abaixo das sementes. A cultivar utilizada foi a BRS A502, cujas características já foram apresentadas na seção de revisão de literatura. Foram distribuídas 35 g de sementes por linha, totalizando 175 g por parcela (Figura 6).

Figura 5 – Abertura dos sulcos de semeadura e aplicação do adubo de plantio com o uso de semeadora-adubadora mecanizada, Dracena-SP, safra 2024/25



Fonte: Acervo da autora (2024).

Figura 6 – Sementes, cultivar BRS A502, distribuídas nos sulcos abertos de semeadura, Dracena-SP, safra 2024/25



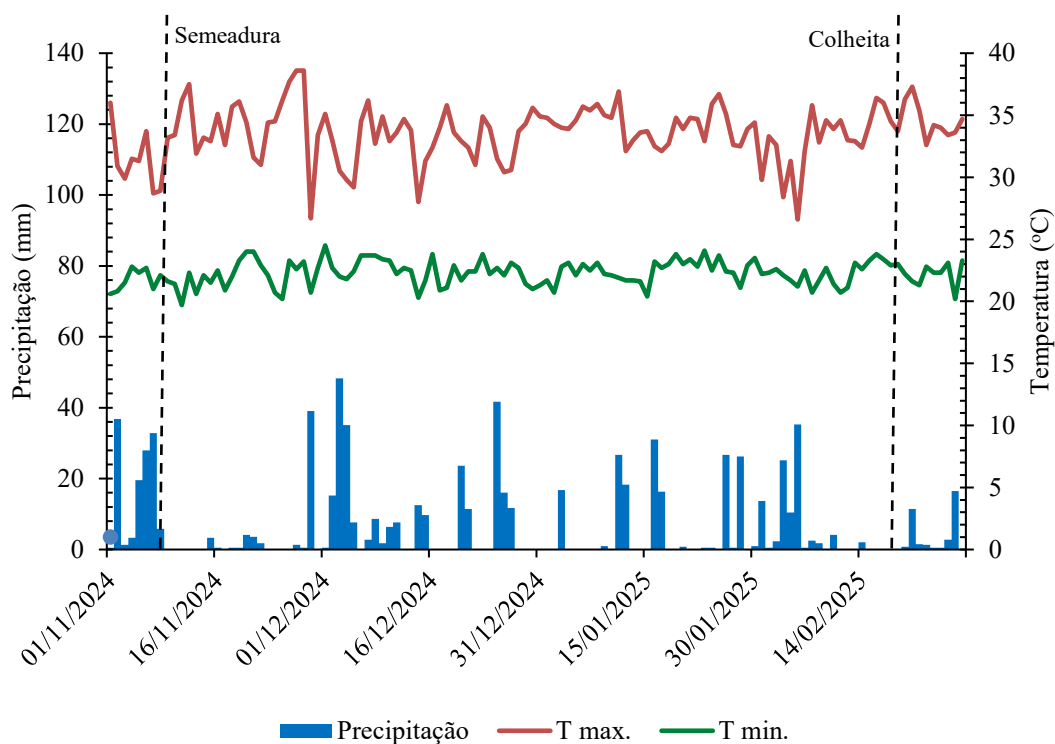
Fonte: Acervo da autora (2024).

O sistema de cultivo adotado foi o de terras altas, com o uso de irrigação suplementar por aspersão. A irrigação foi conduzida com aspersores de vazão

média de 8 mm h⁻¹, ligados por cerca de 4 horas por evento, quando era necessário suprir o déficit hídrico.

As condições climáticas durante o ciclo da cultura foram caracterizadas por variações regulares de temperatura e distribuição irregular de chuvas. A Figura 7 apresenta a estimativa de dados de temperatura máxima, mínima e precipitação pluvial registrados no período de condução do experimento, entre os meses de novembro de 2024 e fevereiro de 2025.

Figura 7 – Precipitação e temperaturas máximas e mínimas durante o período de condução do experimento



Fonte: Dados obtidos através da estação meteorológica da FEIS e adaptados pela autora (2025).

A adubação de cobertura foi realizada de forma parcelada, com duas aplicações durante o ciclo da cultura. A primeira aconteceu no dia 12 de dezembro de 2024, onde foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, fornecido através de sulfato de amônio (300 kg ha⁻¹). A segunda aplicação foi realizada no dia 06 de janeiro de 2025, e seguiu a mesma dosagem e fonte de nitrogênio. Ambas foram feitas através de carriola adubadora manual, com distribuição uniforme entre as linhas.

Durante o ciclo da cultura, foram realizadas aplicações de defensivos agrícolas com o objetivo de controlar pragas e doenças que poderiam comprometer o desenvolvimento fisiológico e o potencial produtivo do arroz. As intervenções químicas foram realizadas conforme a necessidade observada em campo e seguiram as recomendações técnicas dos produtos utilizados. A relação dos defensivos aplicados ao longo do experimento está descrita na Tabela 4.

Tabela 4 – Defensivos agrícolas utilizados durante o ciclo da cultura

Data	Produto	I.A	Classe	Dose
22/11/2024	Decis®	Deltametrina	Inseticida	400 mL ha ⁻¹
	Pirate®	Clorfenapir	Inseticida	1,5 L ha ⁻¹
17/12/2024	e Nativo®	Trifloxistrobina	Fungicida	800 mL ha ⁻¹
20/12/2024	Nomolt®	Teflubenzuron	Inseticida	200 mL ha ⁻¹
16/01/2025	Micromite®	Buprofezina	Inseticida	140 mL ha ⁻¹
	Engeo Pleno®	Tiametoxam	Inseticida	200 mL ha ⁻¹
12/02/2025	Engeo Pleno®	Tiametoxam	Inseticida	200 mL ha ⁻¹

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O controle de plantas daninhas foi realizado de forma manual durante todo o ciclo da cultura, através de capina e arranquio, conforme a necessidade observada em campo.

A colheita foi realizada no dia 24 de fevereiro de 2025, quando a cultura atingiu o ponto de maturação fisiológica (Figura 8). A coleta das panículas para determinação da produtividade foi realizada manualmente dentro das três linhas centrais úteis de cada parcela, em um comprimento de 3 metros por linha, desprezando 0,50 m nas extremidades. Também foram coletas 20 panículas a parte para determinação de demais índices produtivos. Após a colheita, as panículas foram colocadas em casa de vegetação, separadas conforme a identificação das parcelas, conforme Figura 9, para que os grãos terminassem de secar até que atingissem umidade aproximada a 13%, para posterior avaliação.

Figura 8 – Momento da colheita com maturação das panículas de arroz de terras altas, Dracena-SP, safra 2024/25



Fonte: Acervo da autora (2025).

Figura 9 – Panículas de arroz separadas por parcela e dispostas para secagem natural sobre lona plástica em casa de vegetação, Dracena-SP



Fonte: Acervo da autora (2025).

4.4 Avaliações

As avaliações foram realizadas dentro da área útil das parcelas, baseado em protocolos estabelecidos na literatura para a cultura do arroz.

4.4.1 Avaliações fenológicas

- Emergência das plântulas

Foi determinado o número de dias transcorridos entre a semeadura e a emergência da maioria das plântulas.

- Floração

Foi avaliado o número de dias transcorridos entre a emergência e a floração (Figura 10) de 50% das plantas das parcelas.

Figura 10 – Estádio de floração do arroz de terras altas, Dracena-SP, safra 2024/25



Fonte: Acervo da autora (2025).

- Maturação

Foi determinado o número de dias transcorridos entre a emergência e a maturação de 90% das panículas da parcela (Figura 11).

Figura 11 – Estádio de maturação fisiológica de panículas do arroz de terras altas, Dracena-SP, safra 2024/25



Fonte: Acervo da autora (2025).

4.4.2 Avaliações morfológicas

- Altura de plantas

Durante o estágio de grãos na forma pastosa, foi determinado em 10 plantas ao acaso, na área útil de cada parcela, a distância compreendida desde a superfície do solo até a extremidade superior da panícula mais alta (Figura 12).

Figura12 – Avaliação da altura das plantas de arroz, Dracena-SP, safra 2024/25



Fonte: Acervo da autora (2025).

- Grau de acamamento

Determinado visualmente na fase de maturação, utilizando-se a escala de notas: 0 = sem acamamento; 1 = até 5% das plantas acamadas; 2 = de 5 a 25%; 3 = de 25 a 50%; 4 = de 50 a 75%; 5 = de 75 a 100%, a partir da avaliação de cada uma das parcelas.

4.4.3 Avaliações de biomassa e rendimento

- Produção total de matéria fresca da parte aérea

Realizada na fase de maturação dos grãos, com coleta da parte aérea das plantas (folhas, colmo, bainha e panícula) em 0,4 m de linha por parcela, seguido de pesagem diretamente no campo.

- Produção total de matéria seca da parte aérea

Após pesagem da matéria fresca, o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por aproximadamente quatro dias, até obter massa constante e passar novamente por pesagem (Figura 13).

Figura 13 – Estufa utilizada para secagem das amostras (a); Amostras dentro da estufa (b), Dracena-SP, safra 2024/25



Fonte: Acervo da autora (2025).

4.4.4 Avaliação fisiológica

- Leitura SPAD de clorofila

Realizada na folha bandeira do arroz durante o florescimento pleno, utilizando clorofilômetro portátil, em 20 plantas por parcela (Figura 14).

Figura 14 – Leitura do teor de clorofila em planta de arroz de terras altas com clorofilômetro portátil, Dracena-SP, safra 2024/25



Fonte: Acervo da autora (2025).

4.4.5 Avaliação fitossanitária

- Incidência e severidade de doenças

Avaliação visual para indicar grau de severidade de mancha-parda (Figura 15), conforme escala diagramática presente na metodologia proposta por Lenz *et al.* (2010). Foram avaliados aproximadamente 3 m de uma das linhas centrais da parcela, separando os dados avaliados por baixeiro, terço médio e ponteiro das plantas.

Figura 15 – Avaliação visual da severidade de mancha-parda no arroz, Dracena-SP, safra 2024/25



Fonte: Acervo da autora (2025).

4.4.6 Avaliações produtivas

- Número total de grãos por panícula

Determinado a partir da contagem dos grãos de 20 panículas coletadas a parte no momento da colheita. As panículas foram debulhadas a mão e passaram por contagem em máquina específica para a função (Figura 16).

Figura 16 – Contagem de grãos presentes em 20 panículas do arroz de terras altas, Dracena-SP, safra 2024/25



Fonte: Acervo da autora (2025).

- Número de grãos granados e espiguetas chochas por panícula

Obtido a partir da contagem dos grãos granados e das espiguetas chochas das mesmas 20 panículas. Anteriormente a contagem os grãos passaram por separação feita por ventilador e peneiramento.

- Massa de 100 grãos

Determinada pela média da pesagem de amostras de 100 grãos por parcela, corrigida para 13% de umidade.

- Produtividade de grãos

Avaliada por meio da pesagem dos grãos em casca (Figura 17), coletados na área útil das parcelas, corrigindo-se a umidade para 13% e convertendo-se os dados em kg ha^{-1} .

Figura 17 – Determinação do peso dos grãos de arroz em casca, Dracena-SP, safra 2024/25



Fonte: Acervo da autora (2025).

4.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente à análise de regressão polinomial para o fator quantitativo e teste de Tukey para o fator qualitativo e programa SISVAR versão 5.3.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emergência ocorreu de modo uniforme, iniciando seis dias após a semeadura. Esse período é compatível com o esperado para materiais genéticos adaptados ao cultivo em sequeiro, sobretudo quando as condições iniciais de temperatura e umidade do solo estão favoráveis para o processo de germinação (Embrapa, 2023). O florescimento pleno também ocorreu de maneira homogênea aos 79 dias após a emergência, no dia 5 de fevereiro de 2025. A Embrapa (2023) indica que o período de floração para a cultivar utilizada (BRS A502) acontece dentro dessa faixa, entre 75 e 85 dias após emergência. Essa característica indica boa adaptabilidade a regiões que passam por veranicos, permitindo maior chance para a planta escapar de estresses hídricos mais severos durante as fases reprodutivas mais importantes, como a floração e o enchimento de grãos (Conab, 2015).

Embora a cultivar BRS A502 seja classificada como de ciclo médio, a maturação foi observada aos 98 dias após a emergência, o que pode estar relacionado à elevação das temperaturas no período final do ciclo. Estudos indicam que a elevação da temperatura pode acelerar o metabolismo da planta e, consequentemente, antecipar a maturação fisiológica do arroz (Walter *et al.*, 2014).

Por se tratar de variáveis que refletem características próprias da cultivar e que não são influenciadas diretamente pelos tratamentos aplicados, os dados obtidos a partir destas avaliações fenológicas não foram submetidos a análises estatísticas. No entanto, o registro detalhado dessas informações é importante para a caracterização do ciclo da cultura e para embasar a análise dos demais parâmetros avaliados no experimento. De acordo com Stone *et al.* (2011), o acompanhamento fenológico é uma prática recomendada em experimentos agrônômicos, e ainda mais em sistemas onde o ambiente impõe adversidades à produção.

A partir da análise estatística dos dados, para avaliações morfológicas, foi possível observar um decréscimo linear na altura das plantas com o aumento das doses do produto comercial indutor de resistência (Tabela 5). A menor altura média foi registrada com a dose de 800 mL ha⁻¹ (93,11 cm), enquanto a maior altura foi observada no tratamento controle (96,26 cm), representando uma diferença de 3,15 cm. Esse decréscimo linear pode estar associado a elevação na concentração de Cu, condição esta que inibi processos de divisão celular e do meristema apical,

afetando o desenvolvimento do hipocótilo e do coleto, resultando na redução da estatura das plantas (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997).

Ao avaliar o grau de acamamento nas parcelas de arroz, foi verificado que não houve diferenças significativas para todos os tratamentos aplicados (Tabela 5). Entretanto, ainda que não apresente diferença significativa, a média geral indica baixo acamamento, o que pode estar relacionada às características estruturais da cultivar BRS A502, já reconhecida por seu porte moderado e boa resistência ao acamamento (Embrapa, 2023).

A avaliação fisiológica relacionada ao teor de clorofila, avaliada por meio da leitura SPAD, apresentou diferença significativa para a associação entre o uso de silício e as doses do produto comercial (Tabela 5). Para melhor interpretação da significância apresentada pela associação dos fatores, a análise estatística foi interpretada através do desdobramento de dose dentro de cada nível de silício (Tabela 6).

Na presença de silício, houve resposta quadrática significativa das doses sobre a leitura SPAD (Tabela 6). A curva indicou um incremento na leitura SPAD até a dose de 48 mL ha⁻¹, seguida de declínio em doses superiores, sugerindo um limite fisiológico para a resposta positiva da planta ao tratamento. Esse comportamento pode estar associado ao fornecimento equilibrado de Cu e N, nutrientes utilizados no metabolismo e à formação de clorofila, sendo que doses elevadas podem causar toxicidade ou desbalanço nutricional, como relatado por Malavolta (2006) e reforçado por Tomazela *et al.* (2006), que indicam a importância de suprimento adequado de N para a síntese de clorofilas e compostos antioxidantes.

Na ausência de silício, foi possível observar diferença significativa entre as médias das doses. Os valores mais baixos de SPAD ocorreram nas doses de 400 e 800 mL ha⁻¹, significativamente inferiores à dose de 200 mL ha⁻¹ (Tabela 6), o que indica um possível efeito negativo de doses intermediárias sem a proteção conferida pelo Si. De acordo com Zambolim e Ventura (1993), o fornecimento desbalanceado de Cu e N pode favorecer o estresse oxidativo e afetar negativamente a síntese de compostos fotossintéticos, especialmente na ausência de elementos protetores como o silício.

Ao fazer um comparativo entre as linhas, é possível observar que nas doses de 400 e 800 mL ha⁻¹, o uso de silício resultou em valores significativamente maiores de SPAD em relação ao tratamento sem silício (Tabela 6), o que indica que o Si

potencializou o aproveitamento das doses médias, possivelmente ao atuar como quelante e mitigador de estresse, como descrito por Barbosa Filho *et al.* (2001).

Tabela 5 – Índice de clorofila foliar (SPAD), altura de plantas e grau de acamamento do arroz de terras altas em função de doses de produto comercial indutor de resistência e uso de silício. Dracena-SP, ano agrícola 2024/25

Teste F	Altura (cm)	Grau de acamamento (%)	SPAD
p>F			
Silício (s)	0,7531	0,9975	0,1002
Doses (d)	0,1906	0,8584	0,0974
s*d	0,7376	0,1088	0,0308*
Com silício	94,45a	1,55a	-
Sem silício	94,77a	1,55a	-
C.V.%	3,42	237,53	4,21
D.M.S.	2,09	2,38	-
Doses (mL ha ⁻¹)	Regressão Polinomial		
0	96,26	2,62	-
200	96,07	2,00	-
400	94,13	0,87	-
800	93,11	1,25	-
1200	93,47	1,00	-
p>F (linear)	0,0338*(¹)	0,3967	-
p>F (quadrática)	0,3190	0,5763	-
r² (linear %)	75,71	56,97	-
r² (quadrática %)	91,32	81,55	-

Equação

$$^{(1)} y = 95,9923 - 0,0026x$$

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * Valor significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Tabela 6 – Desdobramento do índice SPAD para interação entre uso de silício e doses de indutor de resistência comercial. Dracena-SP, safra 2024/25

Doses (mL ha ⁻¹)	Silício	
	Com	Sem
0	36,95a	35,62a
200	36,65a	37,82a
400	38,62a	35,85b
800	39,50a	36,97b
1200	35,65a	36,90a
D.M.S.	2,26	
p>F (linear)	0,7173	0,4999
p>F (quadrática)	0,0022**(1)	0,6857
r² (linear %)	0,84	8,79
r² (quadrática %)	72,26	11,94
Equação Polinomial		
⁽¹⁾ $y = 36,1952 + 0,0096x - 0,0001x^2$		

Médias seguidas pela mesma letra na linha e/ou na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** Valor significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A produção de matéria fresca não apresentou diferenças significativas para todos os tratamentos aplicados (Tabela 7). A ausência de resposta significativa pode estar associada à uma variabilidade natural ou à ausência de efeitos fisiológicos imediatos desses nutrientes sobre a turgescência celular, que está diretamente ligada ao conteúdo de água nas células (Guimarães, 2017), no momento da coleta.

A matéria seca foi significativamente influenciada pelas doses (Tabela 7). A regressão polinomial quadrática ajustou-se fortemente, onde ocorre declínio de 214,6 g por planta (dose zero) até o mínimo de cerca de 186,9 g por planta em 647,87 mL ha⁻¹, seguido de recuperação gradual em doses superiores (Tabela 7). Embora as doses moderadas de produto comercial possam restringir temporariamente a biomassa seca, existe um limiar acima do qual a planta é capaz de mobilizar mecanismos de tolerância, e recuperar a capacidade de fixar carbono e direcioná-lo à produção de biomassa. De forma simplificada, os resultados sugerem

que em concentrações moderadas de Cu^{2+} , ocorre a inibição da fotossíntese por efeito tóxico nos cloroplastos o que limita a divisão celular, reduzindo o transporte de carboidratos à biomassa de reserva, mas em doses mais elevadas de $\text{Cu}+\text{N}$ a planta ativa mecanismos de tolerância (Malavolta, 2006; Vitti; Camargo, 1998), o que permite recuperação parcial do crescimento e elevação da matéria seca nas faixas de maior dose.

Tabela 7 – Matéria fresca e matéria seca do arroz em função de doses de produto comercial indutor de resistência e uso de silício. Dracena-SP, safra 2024/25

Teste F	Matéria fresca (g)	Matéria seca (g)
	p>F	
Silício (s)	0,1392	0,5986
Doses (d)	0,5474	0,0390*
s*d	0,3210	0,1865
Com silício	27,91a	196,26a
Sem silício	29,95a	201,14a
C.V.%	14,62	14,58
D.M.S.	2,74	18,79
Doses (mL ha⁻¹)	Regressão Polinomial	
0	29,97	214,59
200	30,25	197,82
400	27,07	186,93
800	28,15	189,97
1200	29,23	204,19
p>F (linear)	0,6042	0,5974
p>F (quadrática)	0,2266	0,0485 ⁽¹⁾
r² (linear %)	57,81	6,02
r² (quadrática %)	8,81	95,94

Equação

$$^{(1)} y = 213,1792 - 0,08552x + 0,000066x^2$$

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * Valor significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A severidade da macha-parda foi avaliada em diferentes posições das plantas, sendo elas baixeiro, terço médio e ponteiro. Nenhuma porção analisada apresentou diferença significativa (Tabela 8).

Tabela 8 – Severidade da mancha-parda no arroz em função de doses de indutor de resistência comercial e uso de silício. Dracena-SP, ano agrícola 2024/25

Teste F	Baixeiro (%)	Terço médio (%)	Ponteiro (%)
p>F			
Silício (s)	0,6930	0,8139	0,9975
Doses (d)	0,0753	0,2210	0,3819
s*d	0,0585	0,0667	0,2262
Com silício	8,60a	0,80a	0,25a
Sem silício	9,10a	0,90a	0,25a
C.V.%	44,77	156,54	191,68
D.M.S.	2,57	0,86	0,31
Dose (mL ha ⁻¹)	Regressão Polinomial		
0	7,00	0,37	0,25
200	9,75	1,62	0,25
400	7,62	0,25	0,00
800	12,25	1,25	0,50
1200	7,62	0,75	0,25
p>F (linear)	0,4920	0,8016	0,5452
p>F (quadrática)	0,0589	0,5458	0,9800
r² (linear %)	5,07	1,05	8,62
r² (quadrática %)	45,69	7,16	8,64

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Na porção do baixeiro, é possível observar que existe uma interação próxima ao limite de significância entre os fatores de silício e as doses, sugerindo uma tendência estatística, mas que não apresenta de fato significância estatística (Tabela 8). Embora essa interação não tenha sido estatisticamente significativa, a análise descritiva das médias aponta que os tratamentos com aplicação de silício

apresentaram valores numericamente menores de severidade da doença (8,60%) em comparação aos tratamentos sem aplicação (9,10%). Essa tendência, ainda que não confirmada estatisticamente, vai de encontro com estudos que destacam o papel do silício na indução de resistência, através de barreiras mecânicas e ativação de respostas bioquímicas na planta (Malavolta, 2006; Zambolim; Ventura, 1993).

Na avaliação geral dos componentes produtivos, o silício exerceu efeito significativo sobre o número de grãos cheios e sobre a produtividade (Tabela 9). As doses do produto comercial apresentaram efeito significativo sobre todas as variáveis, exceto para a produtividade. A interação entre os fatores também foi significativa para o número de grãos cheios e grãos inviáveis.

Houve efeito significativo para a massa de 100 grãos (Tabela 9), revelando que diferentes concentrações dos nutrientes interferiram no peso final de grãos. A análise de regressão teve ajuste significativo ao modelo linear, que, por sua vez, indicou que o aumento nas doses do produto comercial promoveu um incremento gradual da massa de 100 grãos, com o valor mais elevado (2,24 g) obtido na dose de 1200 mL ha⁻¹ (Tabela 9). Esse resultado sugere que o fornecimento crescente de cobre e nitrogênio favoreceu o enchimento dos grãos, podendo ser explicado pela atuação do N na síntese de proteínas e carboidratos, e do Cu na ativação enzimática e na formação de compostos fenólicos que contribuem para a integridade dos tecidos vegetais (Malavolta, 2006; Zambolim; Ventura, 1993).

A produtividade de grãos foi significativamente influenciada pelo silício, e a média dos tratamentos sem silício (2991,32 kg ha⁻¹) foi superior à do tratamento com silício (2645,65 kg ha⁻¹) (Tabela 9). Considerando que, em condições normais, o silício tende a favorecer o rendimento por meio da indução de resistência e da melhoria na estrutura da planta (Crusciol *et al.*, 2013), o comportamento observado neste experimento pode estar relacionado às condições climáticas adversas na fase final do ciclo da cultura, especialmente às elevadas temperaturas registradas no período de enchimento e maturação dos grãos, conforme evidenciado na Figura 7. Segundo Malavolta (2006), temperaturas elevadas acima de 35 °C podem acelerar a senescência foliar e comprometer a assimilação e translocação de fotoassimilados para os grãos, resultando em enchimento incompleto e perda de produtividade. Além disso, Zambolim e Ventura (1993) destacam que, sob estresse térmico, a planta direciona parte de sua energia para mecanismos de proteção, o que pode reduzir a eficiência de resposta a indutores como o silício.

Tabela 9 – Grãos cheios e grãos inviáveis por panícula, massa de 100 grãos e produtividade do arroz de terras altas em função de doses de indutor de resistência comercial e uso de silício. Dracena-SP, ano agrícola 2024/25

Teste F	Grãos cheios	Grãos inviáveis	Massa de 100 grãos (g)	Prod. (kg ha ⁻¹)
p>F				
Silício (s)	0,0001**	0,0587	0,0697	0,0126*
Doses (d)	0,0000**	0,0000**	0,0146*	0,3342
s*d	0,0000**	0,0000**	0,1686	0,1224
Com silício	-	-	2,20a	2645,65b
Sem silício	-	-	2,13a	2991,32a
C.V.%	6,04	14,27	5,25	14,51
D.M.S.	-	-	0,07	265,29
Dose (mL ha⁻¹)	Regressão Polinomial			
0	-	-	2,05	2646,57
200	-	-	2,22	2881,14
400	-	-	2,13	2868,79
800	-	-	2,18	2671,27
1200	-	-	2,24	3024,66
p>F (linear)	-	-	0,0137*(1)	0,2541
p>F (quadrática)	-	-	0,5240	0,7296
r² (linear %)	-	-	46,14	28,33
r² (quadrática %)	-	-	48,90	30,87
Equação				
⁽¹⁾ $y = 2,1127 + 0,00011x$				

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * Valor significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ** Valor significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Para o número de grãos cheios a análise de desdobramento revelou que, na presença de silício, as doses aplicadas não promoveram diferenças significativas entre si. Na ausência de silício, os efeitos das doses do produto comercial apresentaram diferenças significativas, com destaque para a dose zero e 800 mL ha⁻¹, que mostraram diferença estatística de outros tratamentos (Tabela 10). Isso

demonstra que, na ausência do silício, as plantas responderam de forma mais direta à variação nutricional, com impacto significativo na formação de grãos cheios.

Através da comparação das colunas, o efeito do silício foi mais evidente em doses extremas (Tabela 10). Na dose zero, o silício promoveu aumento significativo no número de grãos cheios (138,20 vs. 117,26), evidenciando sua ação compensatória na ausência de nutrição foliar, como descrito por Malavolta (2006), que destaca o papel do elemento em favorecer a tolerância fisiológica da planta sob estresse nutricional e hídrico, promovendo maior estabilidade no desempenho produtivo. Na dose de 800 mL ha⁻¹, é possível observar também uma diferença significativa (164,71 com silício vs. 125,33 sem silício), indicando efeito sinérgico entre o silício e a dose intermediária do produto comercial, que favoreceu o enchimento dos grãos.

Para as regressões, na condição com silício os dados foram significativos tanto para o modelo linear, quanto para o quadrático (Tabela 10), indicando que a variação nas doses do produto comercial influenciou de maneira não uniforme o número de grãos cheios. O modelo quadrático mostrou uma proporção maior da variação, logo a resposta das plantas às doses aplicadas, na presença de silício, teve um comportamento curvilíneo, onde houve um aumento no número de grãos cheios até 530,70 mL ha⁻¹, seguido de queda nas doses mais altas. Esse comportamento é considerado típico em respostas de plantas a insumos, pois deve-se considerar que existe uma faixa ideal de aplicação.

Na ausência de silício, o modelo de regressão linear foi significativo (Tabela 10). A equação demonstra que houve redução linear no número de grãos cheios à medida que se aumentam as doses do indutor de resistência comercial. Essa resposta sugere que, sem a presença do silício, doses crescentes do produto comercial podem promover um efeito negativo crescente sobre a fertilidade das panículas. Malavolta (2006) e Zambolim & Ventura (1993), apontam que a eficácia positiva dos nutrientes depende da dose e da condição fisiológica da planta, e que é comum observar respostas decrescentes em casos de desequilíbrio.

Tabela 10 – Desdobramento da interação entre uso de silício e doses de indutor de resistência comercial no arroz de terras altas para quantidade de grãos cheios por panícula. Dracena-SP, ano agrícola 2024/25

Doses (mL ha ⁻¹)	Silício	
	Com	Sem
0	138,20a	117,26b
200	126,96a	136,05a
400	118,77a	112,08a
800	164,71a	125,33b
1200	106,68a	110,06a
D.M.S.	11,00	
p>F (linear)	0,0357*	0,0368*(2)
p>F (quadrática)	0,0000**(1)	0,0907
r² (linear %)	3,61	15,26
r² (quadrática %)	20,91	25,00
Equação Polinomial		
⁽¹⁾ $y = 125,608 + 0,0605x - 0,000057x^2$		
⁽²⁾ $y = 124,657 - 0,0086x$		

Médias seguidas pela mesma letra na linha e/ou na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * Valor significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ** Valor significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O desdobramento da quantidade de grãos inviáveis mostrou diferença significativa para a presença de silício (Tabela 11). Apenas a dose de 200 mL ha⁻¹ se diferenciou das demais, apresentando redução significativa no número de grãos inviáveis. As demais doses não diferiram estatisticamente entre si, mesmo com oscilações numéricas. Esse comportamento sugere que o silício atuou como elemento estabilizador, minimizando os efeitos do aumento das doses de indutores nutricionais sobre a fertilidade das panículas (Malavolta, 2006). Para a ausência de silício também é indicada diferença significativa, com destaque para a dose de 800 mL ha⁻¹, que apresentou o menor número de grãos inviáveis (8,08) e diferiu estatisticamente das demais, revelando que o fornecimento isolado do produto comercial em dose intermediária favoreceu a viabilidade dos grãos, possivelmente

por melhorar o equilíbrio nutricional e o metabolismo reprodutivo da planta (Fageria *et al.*, 2011).

Na interação entre os tratamentos com e sem silício para uma mesma dose, houve diferenças significativas para 200 e 800 mL ha⁻¹ (Tabela 11). Na dose de 200 mL ha⁻¹, a presença do silício reduziu significativamente o número de grãos inviáveis, indicando um efeito benéfico do silício na mitigação de perdas reprodutivas em condições de nutrição foliar moderada. Esse resultado sugere que, nessa faixa, o silício pode ter favorecido a integridade dos tecidos florais e a translocação de assimilados, reduzindo o abortamento de grãos, um mecanismo já descrito por Malavolta (2006) como típico da atuação do silício na parede celular e nos processos antioxidantes. Já na dose de 800 mL ha⁻¹, a tendência foi invertida, o número de grãos inviáveis foi significativamente maior com silício (25,06) do que sem silício (8,08). Esse comportamento sugere que, em doses intermediárias mais concentradas, a associação entre o produto comercial e silício pode ter gerado efeito antagônico, comprometendo a fisiologia reprodutiva da planta.

A análise das regressões na condição sem silício, tanto o modelo linear quanto o modelo quadrático foram altamente significativos (Tabela 11). A regressão quadrática apresentou maior coeficiente de determinação, e a equação mostra uma tendência de redução dos grãos inviáveis até a dose de 792,85 mL ha⁻¹, seguida de aumento na dose mais elevada, refletindo um comportamento típico de resposta das plantas a uma faixa ótima para quantidade de nutriente, como sugerido por Malavolta (2006).

Tabela 11 – Desdobramento da interação entre silício e doses de indutor de resistência comercial no arroz para grãos inviáveis por panícula. Dracena-SP, ano agrícola 2024/25

Doses (mL ha ⁻¹)	Silício	
	Com	Sem
0	23,37a	26,05a
200	18,16b	23,48a
400	15,82a	15,50a
800	25,06a	8,08b
1200	15,32a	16,28a
D.M.S.	3,87	
p>F (linear)	0,0700	0,0000**
p>F (quadrática)	0,5486	0,0000**(1)
r² (linear %)	8,07	48,91
r² (quadrática %)	8,91	89,30
Equação Polinomial		
⁽¹⁾ $y = 28,1732 - 0,0444x + 0,000028x^2$		

Médias seguidas pela mesma letra na linha e/ou na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** Valor significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. Fonte: Elaborado pela autora (2025).

6 CONCLUSÃO

O uso de indutores de resistência promoveu efeitos positivos sobre o estado fisiológico das plantas, especialmente na presença de silício, com destaque para a elevação nos teores de clorofila. Entretanto, os tratamentos ausentes de silício apresentaram incremento na produtividade. Ainda assim, os resultados sugerem que o manejo com indutor de resistência, aliado ao silício, pode representar uma alternativa promissora para o cultivo em sistema de sequeiro, desde que haja cautela na definição das doses.

REFERÊNCIAS

ARF, O. **Sistema de cultivo do arroz**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS. Apostila da disciplina de Grandes Culturas. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitotecniatecnologiadealimentosesocioeconomia716/orivaldoarf/arroz-aula-08.pdf>. Acesso em: 08 maio 2025.

ÁVILA, F. W.; BALIZA, D. P.; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J. L.; RAMOS, S. J. **Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva**. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 184–190, abr./jun. 2010.

BARBOSA FILHO, M. P.; OLIVEIRA, J. P.; SILVA, J. F. C.; OLIVEIRA, A. C. de. **Recomendações de adubação para o arroz de terras altas no Cerrado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 60 p. (Documentos, 118).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n.º 39, de 8 de agosto de 2018**. Diário Oficial da União, Seção 1, Brasília, DF, 10 ago. 2018.

CARVALHO, H. W. P.; MOREIRA, L. A. (Supervisores). **Nutrição mineral de plantas**. Piracicaba, SP: Grupo de Estudos de Fertilizantes Especiais e Nutrição (GEFEN) – CENA/USP, 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **A cultura do arroz**. Organização de Aroldo Antonio de Oliveira Neto. Brasília, DF: Conab, 2015. 180 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Produção de grãos é estimada em 330,3 milhões de toneladas na safra 2024/25**. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-e-estimada-em-330-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2024-25>. Acesso em: 05 maio 2025.

DIDONET, A. D. **Ecofisiologia do arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 25 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 239).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Clima**. In: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Cultivos: arroz – pré-produção – características. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/caracteristicas/clima>. Acesso em: 05 maio 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **O arroz de terras altas como estratégia para segurança alimentar, intensificação ecológica e adaptação à mudança do clima: rumo aos objetivos de desenvolvimento sustentável para o milênio**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2020. 14 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de cultivo**. In: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Cultivos: arroz – produção. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo>. Acesso em: 05 maio 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Arroz de terras altas é usado para diversificar produção de grãos no Cerrado**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/69010963/arroz-de-terras-altas-e-usado-para-diversificar-producao-de-graos-no-cerrado>. Acesso em: 05 maio 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Arroz de terras altas**. Brasília, DF. Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-de-terras-altas>. Acesso em: 05 maio 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Estatística de produção do arroz**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao>. Acesso em: 05 maio 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Importância econômica e social do arroz**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/importancia-economica-e-social>. Acesso em: 05 maio 2025.

FERREIRA, C. M.; MÉNDEZ, P. D. V. (Orgs.). **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção de arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 180 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Cereal Supply and Demand Brief**. Rome: FAO, 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en>. Acesso em: 08 maio 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Food Price Index continued declining in June**. Rome: FAO, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-food-price-index-continued-declining-in-june/en>. Acesso em: 08 maio 2025.

GUIMARÃES, P. H. R. **Método para fenotipagem de raiz e mapeamento associativo para tolerância à deficiência hídrica em arroz**. 2017. 130 f. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

LENZ, G.; BALARDIN, R. S.; DALLA CORTE, G.; MARQUES, L. N.; DEBONA, D. **Escala diagramática para avaliação de severidade de mancha-parda em arroz**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 752–758, abr. 2010.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 1. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, V.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MENEGALE, M.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. **Fertilidade do solo e adubação da cultura do arroz**. In: FAGERIA, N. K. (Org.). **Arroz de terras altas: características e manejo da cultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 5, p. 105–136.

PINTO, T. T.; OGLIARI, J. B.; SOUZA, R.; GONÇALVES, G. M. B. **O arroz de sequeiro e a segurança alimentar de famílias rurais do Extremo Oeste de Santa Catarina**. Agropecuária Catarinense, Florianópolis, v. 31, n. 3, p. 44–49, set./dez. 2018. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/283/270>. Acesso em: 08 maio 2025.

PRABHU, A. S.; BEDENDO, I. P. **Principais doenças do arroz no Brasil**. Goiânia, GO: EMBRAPA-CNPAF, 1982. 31 p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 02).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SOUZA, G. M.; BARBOSA, A. M. **Fatores de estresse no milho são diversos e exigem monitoramento constante**. Visão Agrícola, Piracicaba: ESALQ/USP, n. 13, p. 16-19, 2015.

TOMAZELA, A. L.; FAVARIN, J. L.; FANCELLI, A. L.; MARTIN, T. N.; NETO, D. D.; REIS, A. R. **Doses de nitrogênio e fontes de Cu e Mn suplementar sobre a severidade da ferrugem e atributos morfológicos do milho**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 192–201, 2006.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Grain: World Markets and Trade – Rice, milled**. Washington, DC: USDA, 2025. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0422110>. Acesso em: 08 maio 2025.

WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ROSA, H. T.; FERRAZ, S. E. T.; CERA, J. C. **Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 49, n. 12, p. 915–924, 2014.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A. **Indução de resistência a doenças de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 148 p.