

Efeito do silício na redução da severidade da brusone na cultura do arroz: uma revisão bibliográfica

Effect of silicon in reducing the severity of brusone in rice culture: a bibliographic review

Efecto del silicio en la reducción de la severidad de la brusona en el cultivo de arroz: una revisión bibliográfica

Recebido: 10/11/2022 | Revisado: 20/11/2022 | Aceitado: 21/11/2022 | Publicado: 28/11/2022

Deusdelia Dias Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9544-7387>
Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos Porto S.A., Brasil
E-mail: deusdeliadeusadias@gmail.com

Ildiran Miranda da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1933-6095>
Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos Porto S.A., Brasil
E-mail: ildiranmiranda@gmail.com

Warlyton Silva Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7284-3395>
Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos Porto S.A., Brasil
E-mail: warlytonsilva@gmail.com

Cid Tacaoca Muraishi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9321-8038>
Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos Porto S.A., Brasil
E-mail: cid.muraishi@itpacporto.edu.br

Guilherme Rocha dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2914-9779>
Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos Porto S.A., Brasil
E-mail: Guilherme.rocha@itpacporto.edu.br

Daisy Parente Dourado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0613-9428>
Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos Porto S.A., Brasil
E-mail: daisyagro@gmail.com

Amanda Gomes de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7689-5603>
Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos Porto S.A., Brasil
E-mail: amanda_oli_gomes@outlook.com

Lucas Costa de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1338-0762>
Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos Porto S.A., Brasil
E-mail: lucascostadecarvalho16@outlook.com

Wesly Dias Mendes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9430-5694>
Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos Porto S.A., Brasil
E-mail: wesly2018.mendes@hotmail.com

Carlos Aires Manduca Sobrinho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6266-7386>
Instituto Tocantinense Presidente Antonio Carlos Porto S.A., Brasil
E-mail: carlosmanduca96@gmail.com

Resumo

No cenário alimentar mundial, o arroz possui um grande destaque, uma vez que é base alimentar de mais de três bilhões de pessoas, em todos os continentes. A cultura do arroz pode ser acometida por diversas doenças, entre elas a brusone, causada por *Pyricularia grisea*, sendo a principal doença da cultura, visto que é altamente destrutiva, e para a redução da severidade provocada pela doença, a adubação silicatada é uma alternativa bastante utilizada. Frente ao exposto, buscou-se realizar uma revisão bibliográfica referente à temática, de modo a identificar a importância da adubação silicatada para redução da severidade de brusone na cultura do arroz. Realizou-se uma revisão bibliográfica exploratória sistemática, onde o levantamento bibliográfico foi realizado nas plataformas: Portal de Periódicos Capes, Google Acadêmico, Scielo, Research Gate, Elsevier e PubMed. Além disso, buscou-se por dados oficiais referentes à produção de arroz através da CONAB, EMBRAPA e portais de notícias agrícolas. Os estudos apontam para resultados de grande importância do silício frente à redução da severidade de brusone na cultura do arroz, uma vez que o mesmo age promovendo maior resistência à planta. Nesse sentido, é possível concluir que o silício é um importante micronutriente

para a cultura do arroz, e sua utilização é indispensável, independentemente do tipo de produção, seja irrigado ou sequeiro.

Palavras-chave: Adubação silicatada; Cultura do arroz; *Pyricularia grisea*; Silício.

Abstract

In the world food scenario, rice has a great prominence, since it is the food base of more than three billion people, on all continents. The rice crop can be affected by several diseases, including blast, caused by *Pyricularia grisea*, being the main disease of the crop, since it is highly destructive, and to reduce the severity caused by the disease, silicate fertilization is an alternative. quite used. In view of the above, we sought to carry out a bibliographic review on the subject, in order to identify the importance of silicate fertilization to reduce the severity of blast in rice cultivation. A systematic exploratory literature review was carried out, where the bibliographic survey was carried out on the platforms: Portal de Periódicos Capes, Google Scholar, Scielo, Research Gate, Elsevier and PubMed. In addition, official data referring to rice production were searched through CONAB, EMBRAPA and agricultural news portals. The studies point to results of great importance of silicon in the reduction of the severity of blast in the rice crop, since it acts promoting greater resistance to the plant. In this sense, it is possible to conclude that silicon is an important micronutrient for rice cultivation, and its use is indispensable, regardless of the type of production, whether irrigated or rainfed.

Keywords: Silicate fertilization; Rice culture; *Pyricularia grisea*; Silicon.

Resumen

En el escenario alimentario mundial, el arroz tiene un gran protagonismo, ya que es la base alimentaria de más de tres mil millones de personas, en todos los continentes. El cultivo de arroz puede verse afectado por diversas enfermedades, entre ellas el añublo, causado por *Pyricularia grisea*, siendo la principal enfermedad del cultivo, ya que es altamente destructiva, y para reducir la severidad que provoca la enfermedad, la fertilización con silicatos es una alternativa bastante utilizada. En vista de lo anterior, se buscó realizar una revisión bibliográfica sobre el tema, con el fin de identificar la importancia de la fertilización con silicatos para reducir la severidad del añublo en el cultivo del arroz. Se realizó una revisión bibliográfica exploratoria sistemática, donde se realizó el levantamiento bibliográfico en las plataformas: Portal de Periódicos Capes, Google Scholar, Scielo, Research Gate, Elsevier y PubMed. Además, se buscaron datos oficiales referentes a la producción de arroz a través de CONAB, EMBRAPA y portales de noticias agropecuarias. Los estudios apuntan resultados de gran importancia del silicio en la reducción de la severidad del añublo en el cultivo del arroz, ya que actúa promoviendo mayor resistencia a la planta. En este sentido, es posible concluir que el silicio es un micronutriente importante para el cultivo del arroz, siendo indispensable su uso, independientemente del tipo de producción, ya sea de riego o de secano.

Palabras clave: Fertilización con silicatos; Cultura del arroz; *Pyricularia grisea*; Silicio.

1. Introdução

Na sociedade, temáticas pertinentes à alimentação humana são pautas de discussão, especialmente considerando o aumento no número populacional mundial. E quando se trata do cenário alimentar, há um destaque para o arroz, uma vez que o mesmo é a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas, presente em diversas culturas, por diversos países. Trata-se do segundo cereal mais cultivado em todo o mundo. O consumo médio mundial de arroz possui uma estimativa de 60 kg/pessoa/ano, onde os países asiáticos, que produzem a grande maioria deste cereal, possuem médias ainda mais elevadas, com cerca de 100 a 150 kg/pessoa/ano, enquanto na América Latina a média é de 30 kg/pessoa/ano, com destaque para o Brasil, onde essa média chega a 45 kg/pessoa/ano (Coelho, 2021).

O arroz é cultivado em todos os continentes do mundo, havendo um destaque para a Ásia, onde o continente possui nove dos dez maiores países produtores da cultura no cenário mundial, estando a China em primeiro lugar, com 27% de toda a produção mundial. Apesar disso, no continente americano o arroz apresenta uma demasiada importância social e econômica, e o Brasil destaca-se como um grande produtor neste continente, estando em nono lugar na produção do cenário mundial, com uma produção de 1,5% (EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020). Dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos apontam que na safra 2021/2022, o Brasil produziu 11.618 milhões de toneladas de arroz (Mais Soja, 2022). Já no Brasil, a produção de arroz ocorre especialmente por dois sistemas de cultivo, o sequeiro, também chamado de “cultivo em terras altas”, adotando o plantio em tempo de chuva, e o cultivo irrigado (CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, 2015).

Assim, ao considerar todo esse cenário de produção de arroz no Brasil, também é preciso levar em consideração no que tange às doenças que atingem a cultura e podem prejudicar a produtividade. São vários os fatores que podem comprometer expressivamente o potencial da cultura do arroz, dentre eles estão as doenças que atingem a cultura, que podem ser causadas por fungos, bactérias, vírus e nematoides (SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2018).

Dentre as principais enfermidades que atingem o arroz, tem-se a brusone, causada por *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc. [= *Magnaporthe grisea* (Herbert) Barr], sendo esta a principal doença da cultura, em decorrência da breve durabilidade da resistência das cultivares do arroz, e devido à intensificação do cultivo de arroz inundado, especialmente no que se refere aos locais em condições tropicais, como é o caso do estado do Tocantins (Nascimento, 2019).

A brusone (*Pyricularia grisea*) ocorre em todo o território nacional, e trata-se da principal doença quando se fala em cultura do arroz, por ser a mais destrutiva, onde os danos causados podem chegar ao percentual de 100% da produção da lavoura (SOSBAI, 2018). Tecnologias alternativas têm sido desenvolvidas para o controle da doença, visando uma redução dos impactos ambientais em decorrência do controle químico da mesma, além de buscar uma redução dos custos de produção, onde neste cenário destaca-se a utilização de tecnologias com o uso de indutores de resistência, como os silicatos (Nascimento, 2019).

Frente ao exposto, diante do questionamento “qual o efeito do silício na redução da severidade da brusone na cultura do arroz?”, buscou-se realizar uma revisão bibliográfica referente à temática, de modo a identificar a importância da adubação silicatada para redução da severidade de brusone na cultura do arroz, bem como para identificar como se dá a ação do silício e se há combinações a serem utilizadas com o mesmo para uma maior promoção de benefícios frente à supressão de brusone.

2. Metodologia

Desenho do estudo

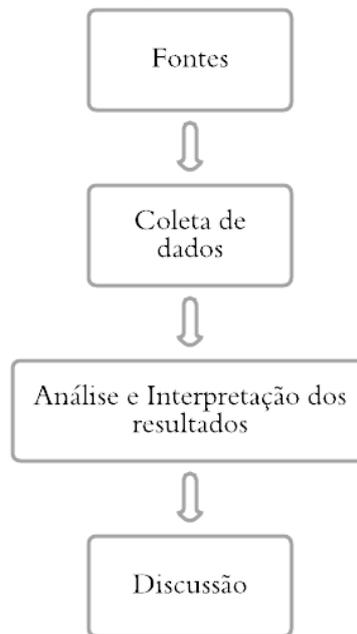
Trata-se de uma pesquisa do tipo exploratória, de abordagem qualitativa, além de ser caracterizada como uma revisão sistemática de literatura. As pesquisas exploratórias são utilizadas para ampliar o conhecimento sobre o pesquisado, familiarizando-se com os fenômenos que surgem ao longo da pesquisa e baseando em pesquisas bibliográficas (Praça, 2015).

No que tange à abordagem, trata-se de uma pesquisa qualitativa. Este método é definido por Gerhardt e Silveira (2009) como a utilização de dados descritivos para a realização da pesquisa e apresentação dos seus resultados, quando não há uma necessidade de apresentação de dados numéricos e estatísticos.

Já no que se refere à revisão sistemática de literatura, trata-se da pesquisa considerada secundária, ou seja, aquela realizada a partir de estudos primários, sendo estes sua fonte de dados (Galvão & Pereira, 2014). Esse tipo de pesquisa é realizado a partir de uma busca sobre a temática a ser investigada em uma determinada base de dados, a partir de uma definição de objetivos e problema de pesquisa, aprofundando-se nos estudos disponíveis sobre o tema, de modo a identificar aquilo que funciona ou não (Galvão & Ricarte, 2020).

Nessa perspectiva, a metodologia empregada na elaboração da presente pesquisa delimitou-se em uma pesquisa bibliográfica, a partir de uma revisão sistemática de literatura. As pesquisas foram realizadas no período de agosto a novembro de 2022. Nesta perspectiva, utilizou-se a proposta de Gil (2008), conforme a Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: Gil (2008).

Procedimentos técnicos

Considerando o tipo de pesquisa, visando uma redução de vieses, realizou-se uma busca por estudos publicados no Google Acadêmico, por se tratar de uma plataforma que reúne publicações de diversas revistas e portais. A definição do Google Acadêmico se deu em virtude de outras bases de dados, como a SciELO, não apresentarem uma grande quantidade de estudos publicados principalmente nos últimos 10 anos, enquanto que a base escolhida por ser muito abrangente promoveu resultados mais significativos de modo que pudessem ser debatidos.

Para tal, utilizou-se os termos “silício”, “brusone” e “arroz”, por estes terem apresentado melhores resultados. Além disso, buscou-se por dados oficiais referentes à produção de arroz através da CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, e portais de notícias agrícolas.

Para a seleção dos artigos, aplicou-se os seguintes critérios de inclusão: artigos originais; estudos experimentais; estudos que apresentem a influência do silício na redução da severidade da brusone na cultura do arroz; estudos publicados entre 2012 e 2022. E os seguintes critérios de exclusão: artigos disponíveis de forma paga; resumo; resenhas; artigos incompletos; artigos de revisão bibliográfica; estudos que apresentem a influência do silício na cultura do arroz que não apresentam quanto à brusone.

Na busca inicial do Google Acadêmico, ao inserir os termos-chave, encontrou-se 387 resultados. No entanto, estes são gerais encontrados na plataforma, sem a aplicação de nenhum critério. Desse modo, aplicou-se uma filtragem disponível no próprio Google Acadêmico para estudos publicados somente entre 2012 e 2022, e assim os resultados de estudos encontrados passaram a ser de 219.

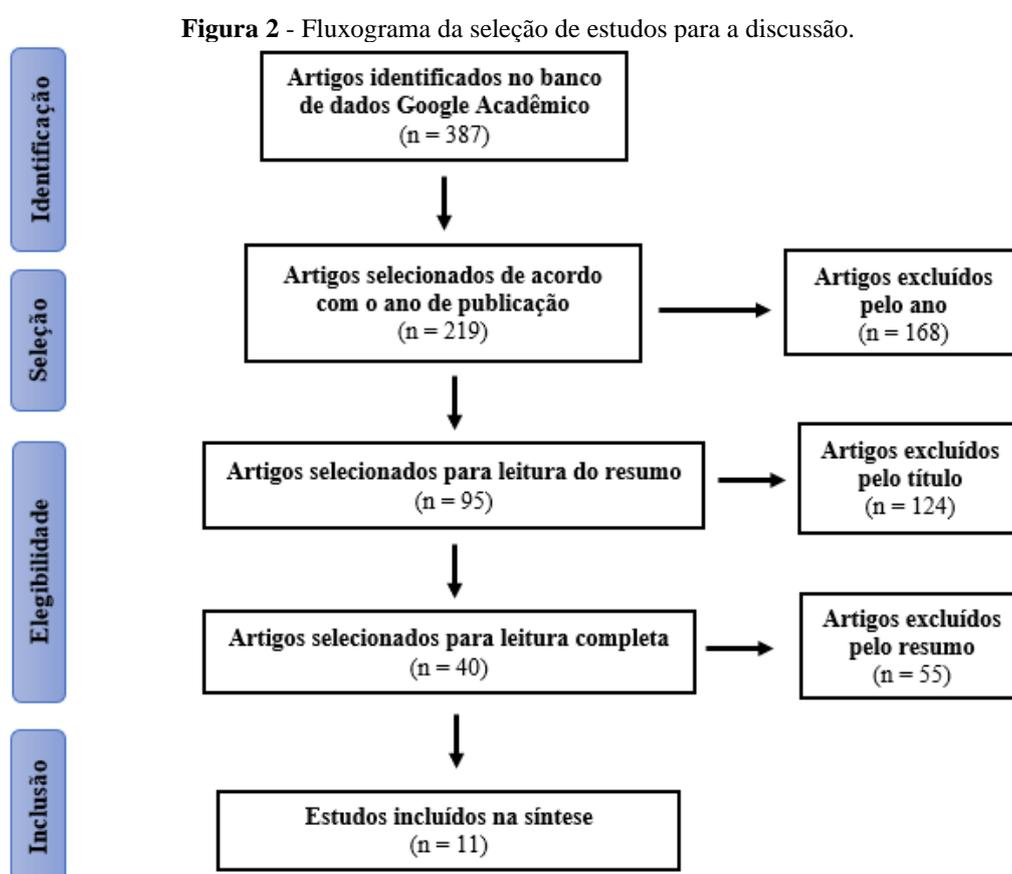
Posteriormente, realizou-se a leitura do título de cada artigo/estudo, visando identificar se os mesmos atendiam fielmente aos critérios de inclusão e exclusão definidos, especialmente no que se refere à temática. Isso se dá em virtude de o Google Acadêmico ser muito abrangente, e mesmo com a definição dos termos-chave, ainda é possível encontrar estudos que não estão realmente dentro da temática. Além disso, alguns estudos já possuem no título que se tratam de uma revisão de literatura, e são imediatamente excluídos. Assim, com a verificação dos títulos de cada estudo, identificou-se que do total, 95 atendiam inicialmente aos critérios.

Após essa verificação, realizou-se a leitura do resumo de cada um destes, visando identificar se os estudos realmente

tratam da temática. Identificou-se que alguns estudos, embora tratem da cultura do arroz e a eficiência do silício, não abordam quanto à eficiência diante da brusone, ou que abordem quanto à cultura do arroz e a incidência de brusone, mas não abordam quanto à aplicação de silício visando a redução da severidade da doença. Também verificou-se estudos que não apontavam se tratar de uma revisão de literatura em seu título, mas apresentavam no resumo. Desse modo, foram selecionados 40 estudos.

Por fim, realizou-se a leitura completa e na íntegra de cada um desses 40 estudos, onde observou-se que alguns deles embora apresentem quanto à cultura do arroz, o silício e a brusone, não trazem dados que apontem para a redução da severidade da brusone na cultura do arroz com a aplicação do silício. Assim, a leitura na íntegra permitiu, ao final, uma seleção de 11 artigos para compor a discussão direta quanto à ação do silício na severidade de brusone no arroz.

O fluxograma da pesquisa é apresentado conforme a figura 2.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Além destes estudos, também incluiu-se dados oficiais da – Companhia Nacional de Abastecimento, EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, e portais de notícias agrícolas. Os mesmos são apresentados e discutidos nos resultados e discussão.

Análise e Interpretação dos Resultados

Realizou-se uma análise descritiva dos dados encontrados. Prodanov e Freitas (2013) afirmam que a pesquisa descritiva visa descrever, analisar e verificar a relação entre fatos e fenômenos existentes na pesquisa, propondo-se a fazer investigações detalhadas para um melhor entendimento quanto as causas e consequências daquilo que é pesquisado.

Assim, a análise descritiva permitiu identificar e descrever quanto à eficiência do silício na cultura do arroz para redução da severidade da brusone, apontando os dados relevantes de forma descritiva e qualitativa de forma sucinta e direta.

3. Resultados e Discussão

A busca dos dados por meio da plataforma Google Acadêmico forneceu uma ampla quantidade de estudos que tratem da temática. No entanto, somente 11 foram selecionados para compor a discussão direta referente à ação do silício na severidade de brusone no arroz, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Estudos incluídos nos resultados e discussão.

Autor	Ano	Título do estudo
Abreu, Q. R.	2017	Importância do silício na cultura do arroz (<i>oryza sp.</i>) em uma abordagem cienciométrica
Cunha, D. F. D.	2021	Bioestimulantes na cultura do arroz inoculado com <i>Pyricularia grisea</i> .
Faria, D. R.	2021	Rizobactérias e silício na intensificação da mitigação do arroz de terras altas ao déficit hídrico e à brusone.
Fontinelli, A. M.	2018	Incidência de doenças, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado, adubado com silício
Hernández, J. F. R.	2020	Silício no manejo de doenças do arroz e elaboração e validação de uma escala diagramática para mancha ocular.
Lanna, A. C., Ferreira, C. M., & de Filippi, M. C. C.	2021	Importância do silício para a sustentabilidade da produção de arroz de terras altas do Cerrado Brasileiro
Nascimento, A. B.	2019	Silicato e fosfito de potássio no controle de brusone no arroz.
Santos, G. R. dos, Neto, M. D. C., Rodrigues, A. C., Bonifacio, A., & Korndorfer, G. H.	2014	Fertilização silicatada e nitrogenada no controle da brusone do arroz em sistema irrigado.
Sousa, T. P.; Souza, A. C. A.; Filippi, M. C. C.; Lanna, A. C.; Cortês, M. V. B.; Pinheiro, H. A.; & Silva, G. B.	2018	Bioagents and silicon promoting fast early upland rice growth.
Souza, A. C. A.	2014	Silício e bioagentes na supressão da brusone foliar em arroz.
Souza, N. S., Feguri, E., Paiva, P. J. R., Borges, V. E., & Silva-Lobo, V. L.	2016	Efeito do silício na redução da severidade da brusone em arroz

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Embora a Tabela 1 apresente os estudos incluídos para o embasamento da pesquisa, conforme já mencionado também foram inclusos alguns dados da CONAB, EMBRAPA e portais de notícias agrícolas, de modo a fornecer dados quanto à produção do arroz, bem como conceitos e termos para se iniciar as discussões.

A cultura do arroz

O arroz (*Oryza sativa*) é originado da Ásia Meridional, e refere-se à uma espécie hidrófila, de grande importância a nível internacional, fazendo parte da alimentação básica de bilhões de pessoas, e por esse motivo trata-se de uma das culturas mais plantadas e consumidas em todo o mundo. No Brasil, foi por volta do século XVI, para a alimentação de escravos e colômbos em grandes fazendas, onde posteriormente se tornou um alimento básico da dieta em todo o país (Faria, 2021).

O arroz é o terceiro cereal mais cultivado em todo o mundo, ficando atrás somente do trigo (*Triticum spp.*) e milho (*Zea mays*) (Faria, 2021). A estimativa da safra 2021/2022 em todo o mundo, divulgado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) é de uma produção mundial de 514,07 milhões de toneladas, enquanto na safra de 2020/2021 foi de 509,68 milhões de toneladas (Canal Rural, 2022).

O cereal é cultivado em todos os continentes do mundo, principalmente no continente asiático, onde a China refere-se ao principal produtor mundial de arroz, onde somente em 2020 produziu em torno de 193 milhões de toneladas. Posteriormente, os outros maiores produtores de arroz são também do continente asiático, onde retirando os países desse continente, o Brasil é o

principal produtor, estando em nono lugar no ranking mundial, com uma produção de cerca de 1,5% (EMBRAPA, 2020).

Servindo de alimento básico de mais da metade da população mundial, o arroz possui grande representatividade no Brasil. No país, a cultura é produzida por meio de dois sistemas de cultivo, o sequeiro, também chamado de cultivo terras altas, que depende do regime pluvial, e o cultivo de arroz irrigado (CONAB, 2015).

Na safra 2021/2022, o Brasil produziu 10.781,4 mil toneladas de arroz, uma redução de 8,4% em relação à safra anterior. A produtividade foi de 6.663 kg.ha⁻¹, e a área total plantada foi de 1.618 mil hectares. A redução na produtividade é explicada pela condição de estiagem e escassez de água em algumas regiões, além de altas temperaturas em outras regiões, ou atraso de colheita devido ao excesso de chuvas (CONAB, 2022).

Fisiologia da planta arroz e doenças que acometem

O arroz é uma planta do gênero *Oryza*, da família das gramíneas, e possui em torno de vinte espécies, onde a mais cultivada é a *Oryza sativa*. Seu grão possui a estrutura formado pelo tegumento, envolvendo a semente e encontrando-se diretamente ligado ao pericarno, onde este último é envolto pelas glúteas, pela lema e pela pálea, constituindo a casca e removidas durante o beneficiamento (CONAB, 2015).

A planta do arroz é herbácea, de ciclo anual, classificada no grupo de plantas com sistema fotossintético C3. No colmo e em suas raízes, possui aerênquima, que confere à planta uma adaptação ao ambiente aquático, possibilitando uma passagem de oxigênio do ar para a rizosfera. Em seu ciclo de desenvolvimento, possui a fase vegetativa e reprodutiva, no entanto em alguns casos pode-se dividir as fases entre vegetativa (da emergência à diferenciação da panícula), reprodutiva (da diferenciação da panícula à antese) e a fase de enchimento de grãos (da antese à maturação fisiológica). E durante essas fases, há vários fatores que limitam o seu desenvolvimento, como os estresses ambientais, tanto os bióticos (déficit hídrico pela falta de chuva, alta salinidade dos solos, presença de metais pesados no solo), quanto abióticos (causados por organismos vivos, como pragas, plantas invasoras e fitopatogênicos) (Faria, 2021).

Durante suas fases, há um complexo de doenças que acometem a cultura do arroz, reduzindo a qualidade dos grãos, qualidade sanitária e fisiológica da semente e a produtividade. Dentre as mais importantes que acometem as plantas de arroz, há um destaque para a Brusone (*M. oryzae*), além de algumas outras como escaldadura das folhas (*Microdochium oryzae*), mancha parda (*Bipolaris oryzae*), e mancha de grãos (*Monographella albescens*, *Sarocladium oryzae*, *Bipolaris oryzae*, *Alternaria padwickii*, *Phoma sorghina*, *Curvularia* sp., *Fusarium* spp., *Nigrospora* spp) (Faria, 2021).

Brusone no arroz

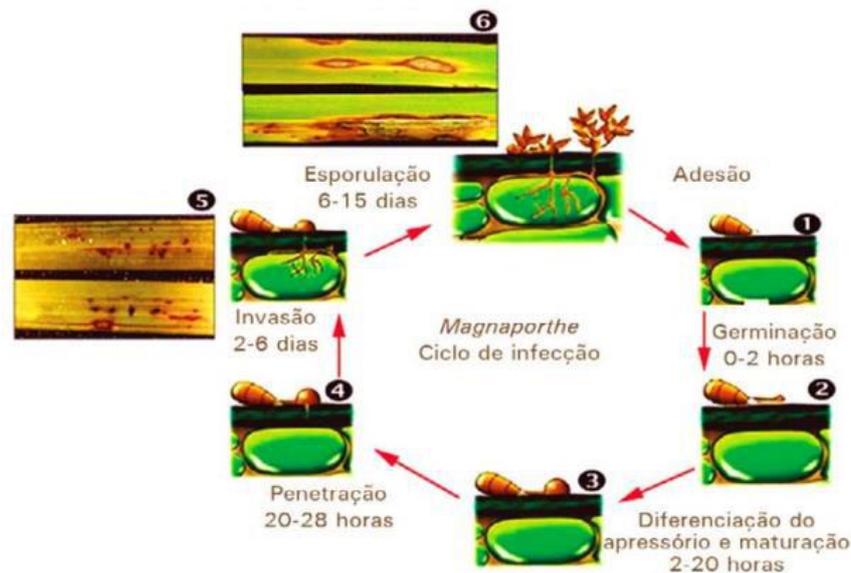
A brusone é uma doença causada pelo fungo *Pyricularia oryzae*, na fase anamórfica ou assexuada, ou pelo fungo *Magnaporthe oryzae* na fase teleomorfa ou sexuada. A doença pode ocorrer em toda a planta, desde a fase inicial até final de produção dos grãos, onde a fase mais crítica ocorre nas folhas por volta de 20 e 50 dias, ou na panícula, durante a fase de enchimento dos grãos. A doença inicialmente causa lesões necróticas, com coloração marrom, evoluindo, aumentando o tamanho e tornando o centro cinza ou esbranquiçado com margem marrom (Souza, 2014).

No arroz, a brusone é causada pelo fungo hemibiotrófico *M. oryzae*, e por estar presente em todos os locais produtores de arroz, é considerada a doença mais devastadora e a que mais afeta a cultura, uma vez que pode provocar perdas de até 100%. A doença causa lesões em todas as partes da planta, incluindo as sementes, pedicelos, panículas, folhas, bainhas das folhas, pescoço, e até mesmo nas raízes. O ataque mais severo da doença ocorre ainda nos estádios inicialmente do desenvolvimento da planta de arroz, onde as lesões coalescem e tomam grandes áreas do limbo foliar, o que pode levar até mesmo à morte da planta (Faria, 2021).

A brusone pode sobreviver até mesmo em outras culturas, sementes contaminadas, resto culturais de outras plantas

cultivadas. Em contato com as plantas de arroz, os conídios iniciam a infecção, aderindo ao tecido vegetal através de uma mucilagem, levando a uma germinação da célula basal ou apical, com a formação de um tubo germinativo, chegando ao apressório. Na base deste último, ocorre um fino *peg* de penetração, onde com o auxílio de enzimas extracelulares, a cutícula do hospedeiro é perfurada e a epiderme é invadida. Após 72 horas, há uma colonização com a diferenciação das hifas de infecção, originando hifas invasivas secundárias, adentrando o tecido vegetal, colonizando outras células e exteriorizando os sintomas. A partir disso, são produzidos os esporos assexuais que podem dar início a um novo ciclo (Faria, 2021). O ciclo de desenvolvimento de *M. oryzae* na folha do arroz é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - O ciclo de desenvolvimento de *M. oryzae* na folha do arroz.



Fonte: Faria (2021).

Verifica-se a partir da Figura 3 que o ciclo do desenvolvimento e infecção do patógeno da brusone no arroz ocorre de forma rápida, e o seu entendimento é fundamental para a identificação de estratégias que visem sua mitigação na cultura, especialmente devido poder provocar a perda de toda uma lavoura, conforme já mencionado.

Ação do silício na severidade de brusone no arroz

Faria et al. (2021) realizaram um estudo voltado à aplicação de silício e *Burkholderia cepacia* no arroz de terras altas para mitigação do déficit hídrico e de brusone, visto que estes são mitigadores de estresse. Para tal, um delineamento casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 2, com e sem inoculação da *Burkholderia cepacia* (BRM3211) em 6 repetições. Utilizou-se a cultivar BRS Esmeralda, tratada com BRM3211 e as sementes foram semeadas em solo com adubação silicatada. Posteriormente realizou-se a pulverização das folhas com BRM3211 e foram submetidas a quatro dias de déficit hídrico, para logo após serem inoculadas com a suspensão de conídios de brusone (*Magnaporthe oryzae*). Os dados do experimento apontaram que tanto de forma isolada, quanto de forma combinada, a BRM3211 e a adubação de SiCaMg promoveram um aumento de até 58,6% da taxa de transpiração, 71,3% a condutância estomática, 56,3% a taxa de fotossíntese, 37,4% a concentração interna de carbono, 17,6% a eficiência da carboxilação, 11,8% a eficiência do uso da água, além de reduzir em até 88% a severidade da brusone foliar.

Lanna et al. (2021) argumentam que o Brasil é o maior produtor de arroz de terras altas do mundo, e a brusone impacta diretamente na produtividade desse tipo de arroz. Nessa perspectiva, os autores apresentam o papel do silício (Si) como supressor da brusone em arroz de terras altas, uma vez que o silício depositado como sílica amorfa na epiderme foliar é capaz de impedir

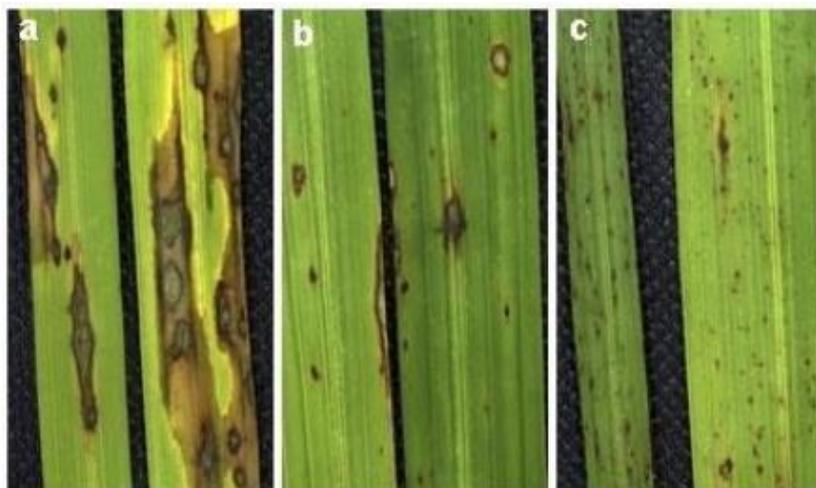
e/ou retardar a penetração do fungo, por meio da formação de uma barreira mecânica, levando à uma redução do número de pontos infectados e por consequências as lesões são retardadas ou não se desenvolvem, aumentando os períodos de incubação e latência. E esses benefícios do silício podem ser potencializados através da aplicação conjunta de microrganismos multifuncionais como *Burkholderia pyrrocinia*, *Trichoderma asperellum* e *Pseudomonas fluorescens*, atuando no controle de doenças e no incremento de processos fisiológicos, como é o caso das trocas gasosas, acúmulo de fitomassa da parte aérea e da raiz, açúcares solúveis totais, pigmentos cloroplastídicos, além da eficiência do uso da água.

Ainda conforme Lanna et al. (2021), os teores do silício se relacionam de forma positiva, tanto na planta, quanto no solo, com a idade da planta e sua resistência genética. Em cultivares geneticamente mais resistentes e/ou com a idade fisiológica mais avançada, os teores se mostram maiores nos tecidos da planta. Assim, a fertilização silicatada aumenta o grau de resistência de cultivares de arroz. Além disso, o silício possui uma ação significativa no que se refere às plantas de arroz, atuando como um modulador da atividade de enzimas e proteínas relativas à sua defesa, como fitoalexinas, fenil amônia-liase, peroxidase, β -1,3-glucanase, lignina, PR-proteínas e ácido salicílico. Assim, estudos apontam que a aplicação de silício pode reduzir consideravelmente a brusone nas folhas de determinados cultivares de arroz, aumentando a atividade de substâncias como fenilalanina amônia-liase (PAL), β -1,3-glucanase (GLU), quitinase (CHI), peroxidase (POX) e o teor de ácido salicílico (AS), o que contribui para melhorar a defesa das plantas.

Dados semelhantes foram observados por Souza (2014), que realizou um estudo para avaliar o efeito do silício, tanto de forma isolada, quanto em combinação com bioagentes, para a supressão de brusone foliar em plantas de arroz de terras altas. Realizou-se dois experimentos em casa de vegetação, utilizando o Agrosilício como fonte de silicato de cálcio e magnésio ($\text{SiCaMg} \cdot \text{ha}^{-1}$), o primeiro composto por 5 tratamentos (controle; 1 tonelada de $\text{SiCaMg} \cdot \text{ha}^{-1}$; 2 toneladas de $\text{SiCaMg} \cdot \text{ha}^{-1}$; 4 toneladas de $\text{SiCaMg} \cdot \text{ha}^{-1}$; 8 toneladas de $\text{SiCaMg} \cdot \text{ha}^{-1}$), 5 subtratamentos (controle; *Burkholderia pyrrocinia*; *Pseudomonas fluorescens*; *Trichoderma asperellum*; mistura dos três bioagentes) e 8 repetições; e o segundo composto por 2 tratamentos (controle; 2 toneladas de $\text{SiCaMg} \cdot \text{ha}^{-1}$), 3 subtratamentos (controle; *Trichoderma asperellum*; mistura dos três bioagentes) e 4 repetições. Os dados apontaram que a interação entre a adubação silicatada e os bioagentes são promissoras.

Nesse estudo de Souza (2014), o primeiro experimento apontou que a combinação entre os três bioagentes (*Burkholderia pyrrocinia*; *Pseudomonas fluorescens*; *Trichoderma asperellum*) e a adubação com 2 toneladas de $\text{SiCaMg} \cdot \text{ha}^{-1}$ reduziu em 96% a severidade de brusone foliar, além de aumentar significativamente das enzimas quitinase, β -1,3-glucanase e o teor de ácido salicílico. No segundo experimento, a combinação entre o bioagente *Trichoderma asperellum* com 2 toneladas de $\text{SiCaMg} \cdot \text{ha}^{-1}$, com a mistura dos três bioagentes em plantas adubadas com a mesma quantidade de silicato de cálcio e magnésio, aumentaram as enzimas quitinase, β -1,3-glucanase, peroxidase, fenilalanina amônia-liase, e o teor de ácido salicílico, suprimindo a brusone em 67%. Esses resultados com a mistura dos três bioagentes combinados com o silício são apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Severidade de brusone foliar, em plantas de arroz adubadas com 2 ton SiCaMg.ha⁻¹ inoculadas com suspensão de conídios de *M. oryzae*. (a) Tratamento controle. (b) Combinação com pool de *T. asperellum*. (c) Combinação com a mistura dos três bioagentes.



Fonte: Souza (2014).

Observa-se na Figura 4 que o tratamento com a mistura de três bioagentes promove um resultado visível a olho nu no que tange à redução da severidade da brusone no arroz. Enquanto o tratamento controle apresenta uma grande quantidade de manchas marrons referentes à brusone, a aplicação dos três bioagentes apresenta uma redução considerável dessas manchas.

Nessa mesma linha de pesquisa, e em um estudo utilizando as mesmas doses de Souza (2014), observa-se o estudo de Sousa et al. (2018) que também realizaram uma pesquisa com plantas de arroz de terras altas, com a aplicação de silício e bioagentes para a supressão de brusone e crescimento do arroz. O estudo realizou a adubação com silício, combinada com microrganismos promotores de crescimento vegetal (*Pseudomonas fluorescens*, *Burkholderia pyrrocinia* e *Trichoderma asperellum*), em mudas de arroz de terras altas, cultivar BRS Primavera. A aplicação de 2 toneladas de Si.ha⁻¹, combinado com *Trichoderma asperellum* ou a mistura dos três promotores de crescimento vegetal, promoveram um aumento de 54% na biomassa da matéria seca das raízes, 35% no comprimento da parte aérea, 65% no comprimento das raízes, além de 99% da severidade da brusone do arroz.

Fontinelli (2018) realizou uma avaliação da incidência de doenças, a qualidade fisiológica e a produtividade de sementes de arroz irrigado, adubado com fontes e doses de silício, utilizando as cultivares Guri INTA CL (suscetível à brusone foliar e da panícula) e IRGA 424 RI (resistentes à Brusone), e duas fontes de silício, sendo o silicato de alumínio e a casa de arroz carbonizada. A análise apontou que para a cultivar suscetível à brusone, a adubação silicatada das duas formas foram eficientes no controle da severidade da brusone, onde conforme o aumento das doses de silício, houve uma redução das lesões nas folhas das plantas, chegando a uma redução da severidade da doença a partir da dose de 4500 kg ha⁻¹. Isso se dá a partir do depósito de silício abaixo da cutícula da planta e nas células da epiderme foliar, formando uma barreira física por meio da ativação de determinadas enzimas ligadas à defesa do hospedeiro, o que contribui para um fortalecimento das plantas e impedindo ou atrasando a infecção do patógeno.

Ainda no estudo de Fontinelli (2018), observou-se que para a cultivar suscetível à incidência da brusone da panícula, adubação silicatada também apresentou bons resultados, havendo uma menor incidência do patógeno conforme o aumento das doses de silício, principalmente com o uso de silicato de alumínio, uma vez que promove uma mineralização mais rápida do solo, em virtude de suas partículas possuírem menor granulometria.

Cunha (2021) além de avaliar quanto à eficiência do silício ao arroz, também avaliou uma fonte de bioestimulante à

base de extrato de algas e do próprio silício, e um outro bioestimulante à base de micronutrientes, em arroz inoculado com o fungo *Pyricularia grisea* (Brusone). O estudo utilizou a cultivar BRS Atalanta, aplicando um produto A comercial, com concentração de 17% de fósforo, 13% de nitrogênio, 5,7% de zinco e 2,5% de manganês, enquanto o produto B é concentrado com silicato de potássio, enriquecido com zinco, sendo suas concentrações 1,5% de silício, 1,5% de potássio e 0,5% de zinco, ambos combinados com o uso de bioestimulantes à base do extrato da alga *Ascophyllum nodosum*. Os dados apontaram que o uso do bioestimulante contendo o produto A + produto B, aplicados via foliar no arroz inundados, proporcionaram maiores teores foliares de silício e fósforo e um menor número de panículas quando inoculados com brusone.

Em contrapartida, o estudo de Cunha (2021) demonstrou que a aplicação do bioestimulante com o produto B, conteúdo silicato de potássio e enriquecido com zinco, proporcionou maiores teores foliares de ferro, além de menor peso dos grãos quebrados, e quando aplicados em uma dose de 1,5 L ha⁻¹, os dados apontam menores valores de clorofila B na fase de alongamento, independente da inoculação do brusone, e na dose 3,0 L ha⁻¹, proporciona maiores teores foliares de zinco. Assim, o uso do silício combinado com bioestimulantes promove resultados satisfatórios.

Souza et al. (2016) argumentam que o silício é de suma importância na redução de brusone nas folhas de arroz, uma vez que o mesmo confere maior resistência à planta, no que se refere à doença, através da formação de uma barreira física nas folhas, impedindo a penetração do fungo de brusone. Para tal, os autores realizaram um estudo, aplicando doses de silício de 0, 500, 1000 kg.ha⁻¹, e de nitrogênio de 20 e 60 kg.ha⁻¹, onde metade foi aplicada no solo, no plantio, e o restante em cobertura no perfilhamento. Os dados apontaram que o índice de brusone nas plantas de arroz sem a aplicação de silício foi de 5,67, enquanto com a aplicação de silício na dose de 1000 kg.ha⁻¹, o índice foi de 4,67, representando uma redução significativa.

Hernández (2020) realizou um estudo para avaliação do efeito da adubação silicatada sobre os componentes de resistência do arroz e sobre as doenças que atacam a cultura, entre elas a brusone. Os dados demonstraram que a aplicação de silício através da adubação com silicato de cálcio, realizado em casa de vegetação, aumentou a concentração de silício na folha, o que consequentemente melhora sua resistência ao ataque de patógenos, como é o caso de brusone e macha parda. No entanto, ao realizar o experimento em campo, observou-se que a adubação com silicato de cálcio não promoveu um aumento significativo na concentração de silício, tanto no solo, quando nos tecidos da planta, o que pode ser explicado pela alta concentração de silício disponível no solo do local de estudo, bem como devido ao sistema de cultivo de inundação adotado, onde acredita-se que a alteração do potencial redox do solo levou a uma alta liberação de silício, suprindo as demandas mínimas da planta. Já ao realizar o estudo em casa de vegetação, a adubação com silicato de cálcio aumentou a concentração de silício na folha,

Santos et al. (2020) realizou um ensaio em Formoso do Araguaia, no Tocantins, para avaliar o efeito de fontes e doses de aplicações de silício na produtividade e no controle das principais doenças no arroz irrigado, como brusone e mancha parda. O estudo apontou que o aumento da dose de Silicato de Cálcio e Magnésio, a partir da dose de 1 ton/ha, promoveu uma diminuição da severidade de brusone foliar (Bf), brusone na panícula (Bp), além de também diminuir a severidade da mancha parda (Mp). As plantas que recebem maiores doses de termofosfato de silicato de cálcio e magnésio acumulam maiores teores de silício na planta, impactando consideravelmente na produtividade e no controle de doenças como brusone. Os dados são observados na Figura 5, com a diferença entre as características de plantas sem e com adubação silicatada.

Figura 5 - Aspectos de plantas de arroz não adubadas com silício (esquerda) e adubadas com silicato de cálcio (direita) em ensaio realizado em Formoso do Araguaia, Tocantins.



Fonte: Santos et al. (2020).

Observa-se na Figura 5 que as plantas de arroz não adubadas com silício apresentam um aspecto mais seco e com menos volume, enquanto as plantas adubadas com silicato de cálcio se apresentam mais volumosas e visivelmente mais saudáveis.

Santos et al. (2014) apontam para a combinação entre silício e nitrogênio para a redução da severidade e incidência de brusone no arroz, através de um estudo com a aplicação de silicato de cálcio e magnésio, onde aplicou-se doses de 4.000kg/ha e 6.000 kg/ha, manualmente a lanço, e após o plantio realizou-se a adubação de cobertura com doses de nitrogênio de 45 kg/ha e 90 kg/ha na forma de ureia, onde houve uma redução linear na severidade de brusone nas folhas do arroz conforme o aumento das doses de silicato de cálcio e magnésio, uma vez que o aumento da concentração de silício no tecido foliar da planta trata-se de um complexo processo de reações bioquímicas, com produção de compostos secundários de defesa, e mecanismos de deposição e polimerização do silício abaixo da cutícula foliar, que leva a uma formação de barreira física ou mecânica passiva. Além disso, o estudo apontou que plantas de arroz suplementadas com 90 kg/ha de nitrogênio apresentaram maior severidade de brusone foliar, o que pode ser explicado pelo aumento da área foliar e o número de panículas que a grande oferta de nitrogênio promove às plantas, em decorrência da promoção de maior eficiência fotossintética, o que pode levar à criação de um microclima favorável ao desenvolvimento de brusone, devido ao aumento da área foliar.

De forma combinada, o estudo de Santos et al. (2014) aponta que a aplicação de 4.000kg/ha e 6.000 kg/ha de silicato de cálcio e magnésio, independentemente do nível de nitrogênio, reduziu em mais de 60% a incidência de brusone nas panículas superior, enquanto a suplementação de 4.000 kg/ha de silicato de cálcio e magnésio e 90 kg/ha de nitrogênio, houve um aumento da produtividade.

Em conformidade com Abreu (2017), o silício desempenha uma importância significativa para a cultura do arroz, sendo reconhecido como um micronutriente essencial para a cultura em 2004, pela legislação brasileira de fertilizantes, uma vez que o mesmo aumenta a resistência mecânica, proporciona melhorias na fisiologia da planta, mantendo-a mais ereta e consequentemente tendo um melhor aproveitamento da luz solar e maior fotossíntese, além de uma maior resistência ao ataque de patógenos. Por apresentar tamanha importância, diversos autores realizam estudos referentes à temática, onde apontam para os benefícios do silício à cultura do arroz.

4. Conclusão

A cultura do arroz é de grande importância tanto no cenário nacional, quanto no internacional. Este é um cereal presente na alimentação de pessoas em todos os continentes. No Brasil, o consumo é alto, e por esse motivo o país destaca-se no cenário

produtivo do grão, sendo o principal produtor fora do continente asiático.

Dada a sua importância, o estudo referente às doenças que atacam a cultura é de grande valia, especialmente no que se refere à brusone, uma vez que a doença pode comprometer até 100% de uma plantação de arroz, impactando não somente na produtividade, como também na economia e no social, visto que o arroz desempenha um papel significativo na sociedade.

Nessa perspectiva, a pesquisa aponta para a relevância da utilização do silício como uma alternativa importante para a redução da severidade de brusone no arroz. Todos os estudos apontados, argumentam que a adubação silicatada é uma alternativa que promove bons resultados. Além disso, a adubação de silício combinada com bioestimulantes promovem resultados ainda mais significativos.

Os dados demonstram que a adição de silício promove uma redução da severidade de brusone tanto foliar, quanto de panícula, e a adubação pode ocorrer de diversas formas. Além disso, estudos apontam que o silício pode ser aplicado combinado com nitrogênio ou bioestimulantes, promovendo resultados significativos que podem chegar até a 99% de redução da severidade.

Nesse sentido, é possível concluir que o silício é um importante micronutriente para a cultura do arroz, e sua utilização é indispensável, independentemente do tipo de produção, seja irrigado ou sequeiro, visando uma redução na severidade da brusone.

Sugere-se que estudos futuros busquem realizar a combinação de silício com outras adubações, uma vez que dados apontam para bons resultados quando se utiliza com álbuns bioagentes. Assim, estudos devem ser desenvolvidos para o desenvolvimento de novas alternativas que viabilizem ainda mais a utilização do silício.

Referências

- Abreu, Q. R. (2017). *Importância do silício na cultura do arroz (oryza sp.) em uma abordagem cienciométrica*. TCC (Graduação em Agronomia), UniEvangélica, 2 -52.
- Canal Rural. (2022). Arroz: USDA prevê safra mundial 2021/22 em 514,07 mi toneladas de beneficiado. Recuperado em 15 outubro, 2022, de <https://www.canalrural.com.br/radar/arroz-usda-preve-safra-mundial-2021-22-em-51407-mi-toneladas-de-beneficiado/>.
- Coelho, J. D. (2021) Arroz: produção e mercado. *Caderno Setorial ETENE*, ano 6, nº 156.
- Companhia Nacional do Abastecimento – CONAB. (2022). Acompanhamento da safra brasileira de grão, Safra 2021/22, 12º levantamento. *Conab*, 12(9), 1-88.
- Companhia Nacional do Abastecimento – CONAB. (2015). A cultura do arroz. *Conab*, 180 p.
- Cunha, D. F. D. (2021). Bioestimulantes na cultura do arroz inoculado com *Pyricularia grisea*. TCC (Graduação em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2020). Consumo Per capita de Arroz (*Oryza sativa* L.) e de Feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), no Brasil, de 1985 a 2019.
- Faria, D. R. (2021). *Rizobactérias e silício na intensificação da mitigação do arroz de terras altas ao déficit hídrico e à brusone*. Dissertação de pós-graduação – Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1 -117.
- Fontinelli, A. M. (2018). *Incidência de doenças, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado, adubado com silício*. TCC (Graduação em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal do Pampa, 1 – 28.
- Galvão, M. C. B. & Ricarte, I. L. M. (2020). Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. *Filosofia da informação*, 6(1) 57-53.
- Galvão, T. F. & Pereira, M. G. (2014). Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 23(1), 183-185.
- Gerhardt, T. E. & Silveira, D. T. (2009). *Métodos de Pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. (6. Ed.) São Paulo, SP: Editora Atlas.
- Hernández, J. F. R. (2020). *Silício no manejo de doenças do arroz e elaboração e validação de uma escala diagramática para mancha ocular*. Tese de Pós-Graduação em Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 1 – 50.
- Lanna, A. C., Ferreira, C. M., & Filippi, M. C. C. (2021). Importância do silício para a sustentabilidade da produção de arroz de terras altas do Cerrado Brasileiro. *Embrapa, Comunicado Técnico 259*, Santo Antônio de Goiás, 2021.
- Mais Soja. (2022). USDA estima produção de arroz do Brasil em 11,618 milhões de t para 2021/22. Recuperado em 13 outubro, 2022, de <https://maissoja.com.br/usda-estima-producao-de-arroz-do-brasil-em-11618-milhoes-de-t-para-2021-22/#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20arroz%20em,8%2C006%20milh%C3%B5es%20no%20ano%20anterior.>

Nascimento, A. B. (2019). *Silicato e fosfito de potássio no controle de brusone no arroz*. TCC (Graduação) em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal do Pampa, 1 – 24.

Praça, F. S. G. (2015). Metodologia da Pesquisa Científica: Organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. *Revista Eletrônica "Diálogos Acadêmicos"*, nº 1, 72-87.

Prodanov, C. C. & Freitas, E. C. (2013). *Metodologia do Trabalho Científico*. Universidade Feevale, 2ª edição.

Santos, G. R. dos, Neto, M. D. C., Rodrigues, A. C., Bonifacio, A., & Korndorfer, G. H. (2020). Aplicação para controle de brusone em arroz. *Revista Cultivar*, ed. 191.

Santos, G. R. dos, Neto, M. D. C., Rodrigues, A. C., Bonifacio, A., & Korndorfer, G. H. (2014). Fertilização silicatada e nitrogenada no controle da brusone do arroz em sistema irrigado. *Revista Caatinga*, 27(4), 103-108.

Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado – SOSBAI. (2018). Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. *Sosbai*, 200p.

Sousa, T. P.; Souza, A. C. A.; Filippi, M. C. C.; Lanna, A. C.; Cortês, M. V. B.; Pinheiro, H. A.; & Silva, G. B. (2018). Bioagents and silicon promoting fast early upland rice growth. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(4), 3657-3668.

Souza, A. C. A. (2014). *Silício e bioagentes na supressão da brusone foliar em arroz*. Dissertação de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1 -53.

Souza, N. S., Feguri, E., Paiva, P. J. R., Borges, V. E., & Silva-Lobo, V. L (2016). Efeito do silício na redução da severidade da brusone em arroz. *Embrapa*.