

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UniEVANGÉLICA
CURSO DE AGRONOMIA**

**IMPORTÂNCIA DO SILÍCIO NA CULTURA DO ARROZ (*ORYZA SP.*)
EM UMA ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA**

Wellington Rodrigues de Abreu

**ANÁPOLIS-GO
2017**

WELLINGTON RODRIGUES DE ABREU

**IMPORTÂNCIA DO SILÍCIO NA CULTURA DO ARROZ (ORYZA SP.) EM UMA
ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário de Anápolis-UniEvangélica, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Área de concentração: Fisiologia vegetal

Orientadora: Prof^ª. Dr.^a. Josana de Castro Peixoto

Co-orientador: Prof. Me. Thiago Rodrigues Ramos Farias

**ANÁPOLIS-GO
2017**

WELLINGTON RODRIGUES DE ABREU

**IMPORTÂNCIA DO SILÍCIO NA CULTURA DO ARROZ EM UMA ABORDAGEM
CIENCIOMÉTRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Universitário de Anápolis –
UniEvangélica, para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Área de concentração: Fisiologia vegetal

Aprovado em: _____

Banca examinadora

Prof^a. Dr^a. Josana de Castro Peixoto
UniEvangélica
Presidente

Prof^a. Me. Thiago Rodrigues Ramos Farias
UniEvangélica

Prof^a. Dr^a. Klênia Rodrigues Pacheco Sá
UniEvangélica

Dedico este projeto primeiramente a Deus, pois sem ele, nada seria possível e não estaríamos aqui neste momento desfrutando de tal alegria.

A minha mãe Eliandra, ao meu Pai Hélio, à minha irmã Débora, á minha madrinha Maria de Fátima e aos demais familiares e amigos que tanto me apoiaram em todos os momentos, aos professores que me deram total apoio, em geral a todos que me acolheram e me acompanharam em toda minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Centro Universitário de Anápolis - UniEvangélica pela disponibilização do curso e melhorias no mesmo a cada ano que se passa e aos professores pela dedicação aos acadêmicos visando a sua vida profissional após formados.

À minha orientadora de TCC, Dr^a. Josana de Castro Peixoto e Prof Me. Thiago Rodrigues Ramos Farias pela dedicação e por transferir seus conhecimentos.

Ao meu amigo e orientador de estágio Dr. José Alexandre de Freitas Barrigossi, pela força e sua dedicação em meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Aos meus amigos Wesley Rodrigues de Araujo, Leandro das Dores Lobo e ao Guilherme Carlos Brandão e demais amigos que sempre estiveram presentes me apoiando em todos os momentos.

À minha mãe Eliandra Dutra Rodrigues, meu pai Hélio Fabião de Abreu, minha irmã Débora Rodrigues Abreu e a minha madrinha Maria de Fátima e demais familiares, pelos incentivos e apoio, o afeto e compreensão por tantos momentos.

A todos, minha eterna gratidão.

“Se for difícil eu faço, se for impossível me dá 5 minutos!”.

Fabio Soares

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. ARROZ	12
2.1.1. Clima e solo	13
2.1.2. Manejo do Solo Agrícola	14
2.1.3. Sistema de cultivo	15
2.2. O SILÍCIO (Si)	15
2.2.1 Aplicação do silício	16
2.2.2. O Silício no solo	18
2.2.3. Absorção do Silício pelas plantas	19
2.2.3.1. Absorção radicular do Silício	21
2.2.3.2. Redistribuição do Silício na planta	23
2.2.4. O Silício nas plantas	24
2.2.4.1. O Silício em resposta á estresses	25
2.2.4.2 Estresse Hídrico	26
2.2.4.3. Estresse salino	28
2.2.4.4. Estresse por baixa temperatura	28
2.2.4.5. Estresse ocasionado por alta temperatura	29
2.2.4.6. Estresse por alumínio	29
2.2.5. Silício como defensivo para as plantas	30
2.2.5. Utilização do silício no controle de pragas	31
2.2.5.1. Utilização do silício contra patógenos	33
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

RESUMO

O arroz é o principal alimento de bilhões de pessoas no mundo, e a tendência é de o seu consumo aumentar nos próximos anos, com isso o cultivo do arroz sempre terá de estar se atualizando a novas técnicas afim de aumentar a produtividade reduzindo impactos ao meio ambiente. Há uma grande utilização de elementos benéficos tais como nutrientes e micronutrientes para aumentar e/ou melhorar a produção, estão se tornando o uso cada vez mais frequentes entre os produtores. No caso do arroz, a utilização do silício, um elemento que não é considerado essencial, mas em 2004 entrou na lista dos micronutrientes, este tem sido estudado de acordo com diversos trabalhos realizados mostraram que para o desenvolvimento da planta, o Si se mostra benéfico, trazendo diversos benefícios a cultura, sendo eles diretos e indiretos. Esses benefícios podem serem apontados como aumento de resistência mecânica e que traz melhorias a fisiologia e maior resistência a ataque de insetos-pragas, a entrada de patógenos, evitando assim maiores perdas na produção e aumentando o desenvolvimento fisiológico mantendo a planta mais ereta assim tendo um melhor aproveitamento da luz solar, aumentando sua fotossíntese. O aumento da resistência mecânica das células, forma uma dupla camada sílica na parede celular diminuindo a abertura dos estômatos, assim tendo uma menor transpiração o que consequentemente tem maior resistência a deficiências hídricas por conta diminuir a perda vapor de água, a utilização do Si também proporciona a diminuição do efeito tóxico de metais pesados. Os artigos para a análise cienciométrica foram recuperados de 3 bases de dados (Google scholar, Periódicos Capes e SciELO), sendo selecionados 269 artigos para a análise. Dentre os trabalhos pesquisados, mostraram maior tendência de pesquisas nos estados de Minas Gerais e São Paulo, maioria das pesquisas se tratavam de artigos científicos e de Dissertações de mestrado. Obtendo um grande avanço no número de pesquisas sobre o Silício a partir do ano 2000. De acordo com os trabalhos realizados e o aumento dos mesmos, mostram que esse elemento é realmente benéfico à cultura do arroz, já que essa planta é considerada como acumuladora desse elemento, mostrando assim esses benefícios proporcionados mais evidentemente.

Palavras-chave: Silício, *Oryza sativa*, Benefícios.

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa L.*) é uma planta do gênero *Oryza*, pertencente a família das Poaceas, sendo a terceira maior cultura cerealífera do mundo, sendo ultrapassado apenas pelo milho e pelo trigo. Este cereal é rico em hidratos de carbono e tem em sua composição teor de proteína variando de 15% a 20%, amido entre 75% a 80% (STORCK, 2004). A produção mundial estimada do arroz beneficiado é de 483,66 milhões de toneladas na safra 2017/2018, sendo 11,7 milhões de toneladas produzidas no Brasil (USDA/FAS, 2017).

No Mercosul o Brasil se destaca-se como o maior mercado consumidor deste cereal, com uma demanda estimada de 11,5 milhões de toneladas (CONAB, 2017). Sendo consumido por cerca de 95% dos brasileiros, e desses, mais da metade o fazem o consumo no mínimo uma vez por dia.

O arroz do tipo “agulhinha” mais conhecido assim comercialmente, é o arroz da classe Longo fino, esse tipo de arroz possui preferência nacional, que é branco transparente e apresenta a característica de ser mais solto, macio e firme após o preparo para o consumo (BARATA, 2005). De toda forma o arroz branco polido é o mais consumido, com cerca de 70% do total. Em segundo lugar aparece o arroz parboilizado, se aproxima de 25%, onde o consumo quintuplicou nas duas últimas décadas, e ficando o arroz integral com 3 a 4% do que é consumido no Brasil (ELIAS et al., 2012).

Os sistemas de produção no Brasil baseia-se em dois grandes sistemas de produção para a cultura do arroz, o primeiro, denominado arroz irrigado, normalmente se cultiva o arroz com irrigação por inundação controlada, e, o segundo, denominado de arroz de terras altas, considerado o cultivo em sequeiro, podendo haver irrigação suplementar por aspersão. O cultivo do arroz irrigado por inundação se concentra na região Sul do Brasil, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, sendo responsável por 78% da produção brasileira (EMBRAPA, 2012). O arroz de terras altas concentra-se, principalmente, na região Centro-Oeste, nos estados de Mato Grosso e Goiás, na região Norte, nos estados do Tocantins, Roraima e Pará e na região Nordeste, no estado do Maranhão (LANA, et al., 2012).

Existem diversos elementos químicos que são considerados benéficos para diversas culturas e sua utilização tem se tornado comum entre os agricultores como uma forma de melhorar a sua produção. Segundo JONES & HANDRECK (1967), o Si não é considerado um elemento essencial para as plantas, pois não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. No entanto, EPSTEIN (2001) cita efeitos benéficos relatados em culturas

adubadas com Si no que se refere à resistência a doenças e pragas, resistência à toxicidade a metais, menor evapotranspiração, promoção de nodulação em leguminosas, efeitos na atividade de enzimas, efeitos na composição mineral, dentre outros. Por isso, o Si é classificado como elemento benéfico ou útil (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995).

A utilização do silício (Si), um elemento que foi considerado, desde 2004, como um micronutriente pela legislação brasileira de fertilizantes (BRASIL, 2004), não faz parte dos minerais essenciais para o desenvolvimento das plantas cultivadas. Entretanto, promove maior produtividade em diversas gramíneas como arroz, cana-de-açúcar, milho, trigo, sorgo, aveia, milheto e forrageiras e muitas não-gramíneas como feijão, tomate, brássicas e alface (KORNDÖFER & DATNOFF, 1995).

O caso do Si é interessante, pois mesmo não sendo essencial no desenvolvimento da planta (EPSTEIN, 1994), proporciona diversos benefícios diretos e indiretos para a planta, especialmente para as monocotiledôneas, como o arroz. Apesar dos benefícios, as funções do Si no arroz não são bem entendidas porque o nível do elemento necessário para aumentar o crescimento é muito maior no campo que em solução nutritiva, aonde a maioria dos experimentos com a cultura e o elemento em questão vem sendo conduzidos.

Vários mecanismos apontados para explicar o efeito benéfico do Si encontram-se relacionados com ações indiretas provocadas pela deposição de Si nas folhas e com a consequente maior rigidez dos tecidos. As folhas tornam-se mais eretas, favorecendo a entrada de luz solar, maior absorção de CO₂ e diminuição da transpiração excessiva, permitindo incremento da taxa fotossintética (SAVANT et al., 1997).

Entre os benefícios proporcionados pelo Si, pode-se destacar o aumento da absorção de magnésio, cálcio e o aumento da resistência da parede celular e regulação da evapotranspiração, estímulo à produção de fitoalexinas (fenóis), aumento da taxa fotossintética, além de melhorar a arquitetura foliar, a redistribuição do manganês na planta e proporcionar redução na preferência alimentar de insetos e incidência de doenças, principalmente fúngicas (REIS et al., 2008).

Na base destas considerações, diversos autores têm estudado os efeitos da adição de fontes de Si no cultivo de arroz, com vistas em incrementar o rendimento da cultura (YAMAUCHI & WINSLOW, 1989; KORNDÖFER et al., 1999).

Com isso o principal objetivo deste trabalho é destacar a importância e os benefícios da utilização do Silício na cultura do arroz, realizando uma perspectiva cienciométrica dos trabalhos publicados com a cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ARROZ

O cultivo do arroz (*Oryza sativa L.*) dentre as demais culturas anuais, é a mais importante no mundo, pois constitui na alimentação básica de mais da metade da população mundial (FAGERIA, 2004). Um dos alimentos com melhor balanço nutricional, que se adapta às diferentes condições de solo e clima, sendo a espécie de maior potencial para o controle da fome no mundo (AZAMBUJA et al., 2004). Sua importância é destacada, principalmente, em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde desempenha papel estratégico em níveis econômico e social (WALTER et al., 2008).

Na safra de arroz de 2011 atingiu 13,5 milhões de toneladas, um aumento de 19% em relação a safra de 2010. Nesse período rendimento aumentou 17%. A área plantada no Rio Grande do Sul aumentou em 8,5%, para 1,171 milhão de hectares, e o rendimento subiu em 15,3%. A produção no estado foi de 8,9 milhões de toneladas, 66,5% da produção nacional (CONAB, 2012).

Em destaque no Brasil, o arroz assume um papel de grande importância como fonte de calorias e proteínas na alimentação dos brasileiros. A composição do arroz é constituída especialmente por carboidratos e possui proteínas, lipídios, vitaminas e minerais. Há uma variação na proporção dos nutrientes no grão que é influenciada pela variação genotípica, condições do clima, fertilizantes, qualidade do solo, processamento/beneficiamento, preparo para o consumo e até mesmo o armazenamento (ZHOU et al. citado por STORK, 2004; KENNEDY et al., 2002).

A formação do grão constitui em tegumento, que envolve a semente e se encontra diretamente ligado ao pericarpo, membrana que envolve o fruto. O pericarpo é envolvido pelas glumelas, pelo lema e pela pálea, que constituem a casca (Figura 1) e são removidas durante o beneficiamento (VIEIRA & CARVALHO, 1999).

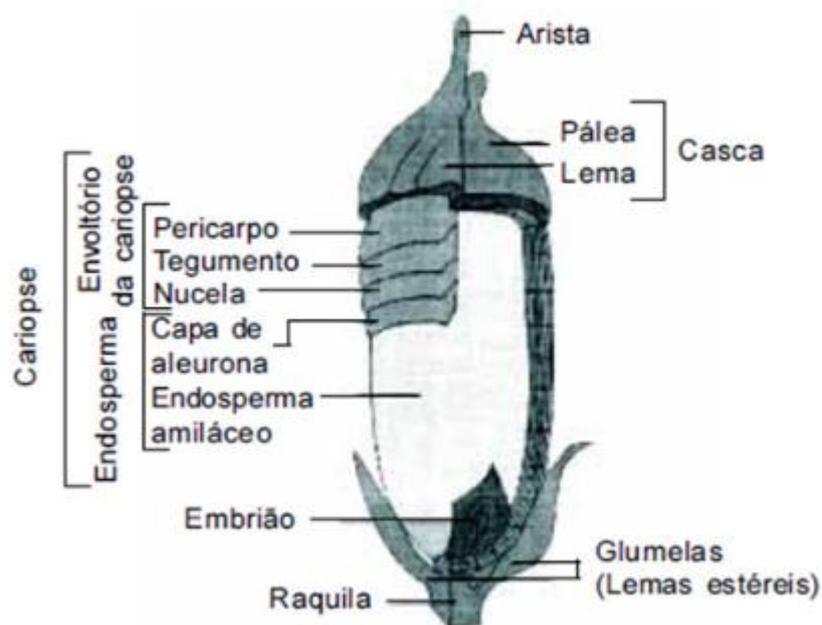


Figura 1: Partes constituintes do grão de arroz.

2.1.1. Clima e solo

O arroz é uma planta que apresenta grande capacidade de adaptação a diferentes condições de solo e clima. O cultivo de arroz irrigado é realizado preferencialmente em solos com relevo plano a suave-ondulado que ocorrem em baixadas, geralmente mal drenados, chamados solos de várzeas, em razão da facilidade de manejo da irrigação por inundação para a cultura (PEREIRA et al., 2005).

A temperatura é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do arroz. Assim, cada fase fenológica tem as suas temperaturas críticas ótima, mínima e máxima (STEINMETZ et al., 2005). A temperatura ótima para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 20 e 35°C, sendo esta faixa a ideal para a germinação, de 30 a 33°C para a floração e 20 a 25°C para a maturação. O arroz não tolera temperaturas excessivamente baixas nem excessivamente altas, mas pode variar, tanto para uma como para a outra, em função da fase fenológica (PEREIRA et al., 2005).

A exigência de radiação solar pela cultura do arroz varia de uma fase fenológica para a outra, sendo que, na fase vegetativa, a radiação tem relativamente pouca influência sobre a produtividade e os seus componentes. Entretanto, a produtividade é fortemente influenciada

pela radiação solar durante as fases reprodutiva e de maturação. Vários estudos mostram que, nessas fases, há uma relação linear positiva entre essa variável e a produção de grãos, ocorrendo entre três semanas antes a três semanas após o início da floração (PEREIRA et al., 2005).

A continuidade de cultivo do arroz em uma determinada área leva à autolimitação da cultura, ou seja, acaba impedindo a continuidade do cultivo, devido ao aumento da infestação por plantas daninhas e a intensificação do uso de implementos agrícolas pesados e veículos, utilizados para o preparo convencional dos solos de várzea, intensificando a compactação em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo que varia com o tipo e aprofundidade de atuação dos implementos agrícolas utilizados (PEDROTTI et al., 2001). Tudo isso associado às ações repetitivas de preparo durante vários ciclos podem trazer sérios problemas de drenagem, assim como promover a compactação subsuperficial, dificultando a movimentação da água e a aeração nesses solos (PAULETTO et al., 1993).

Para PEREIRA et al. (2005), as principais classes em que estão incluídos os solos cultivados com arroz na Região subtropical, de acordo com o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, são: Planossolos, Gleissolos, Chernossolos, Plintossolos, Vertissolos, Neossolos, Flúvicos, Neossolos, Quartzarênicos, Hidromórficos, Organossolos e Espodossolos.

2.1.2 Manejo do Solo Agrícola

As mobilizações intensivas do solo, no sistema convencional, sob condições inadequadas de umidade e de cobertura vegetal, modificam adversamente a estrutura do solo, afetando basicamente as relações entre as fases sólidas, líquida e gasosa (KAMIMURA et al., 2009).

Considerando-se as etapas do manejo, o preparo do solo pode ser a atividade que mais modifica o comportamento físico, pois tem ação sobre a estrutura do solo. Além das alterações na porosidade e na drenagem, o preparo provoca alterações na estrutura do solo que modificam a retenção de água e a resistência mecânica (SILVA et al., 1994; SUZUKI, 2005).

Não se deve esperar que solos sob cultivo mantenham as suas características físicas originais, mas deve-se procurar manejá-los de modo que altere o mínimo possível estas características, especialmente as que afetam a infiltração e retenção de água, como a

porosidade e a agregação, para manter a sustentabilidade do sistema (KAMIMURA et al., 2009).

2.1.3 Sistema de cultivo

O arroz é uma espécie hidrófila, cujo o seu processo evolutivo tem levado a sua adaptação para as mais variadas condições ambientais (GUIMARÃES et al., 2006). São considerados dois grandes ambientes de cultivo, o de várzea e o de terras altas, com ou sem irrigação suplementar por aspersão (EMBRAPA, 2012).

No Brasil, o arroz é cultivado em dois ecossistemas de produção denominada em terras altas e várzeas, sob diferentes sistemas de cultivo. Em terras altas o cultivo do arroz não tem a necessidade de irrigação por conta do ecossistema que é o mais difundido territorialmente. Desse modo o sistema correspondeu a 65,4% da área total cultivada com arroz no Brasil e contribuiu com 38,8% da produção nacional (FERREIRA & VILLAR, 2004).

2.2. O SILÍCIO (Si)

O Si é um elemento que contém propriedades elétricas e físicas de um semimetal, o que acaba desempenhando no reino mineral, um papel cuja sua importância pode ser comparada ao do carbono nos reinos Plantae e Animalia. É também o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, 27% em massa, ficando atrás apenas do oxigênio (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

Esse elemento ainda não foi reconhecido como nutriente para as plantas, porque a sua função ainda não foi bem esclarecida (EPSTEIN, 1999). Apesar de o Si não ser considerado um elemento essencial para as plantas, os benefícios dele na agricultura vêm sendo cada vez mais reconhecidos e comprovados por cientistas do mundo inteiro (CHÉRIF et al., 1992; NERI; MORAES; GAVINO, 2005). O Si parece benéfico para o crescimento e produção de determinadas espécies, principalmente daquelas consideradas acumuladoras do elemento, tais como arroz e cana-de-açúcar (LEWIN & REIMANN, 1969; MARSCHNER, 1995).

O Si é encontrado nas formas combinadas, como a sílica, e minerais silicatos. Os silicatos são sais em que a sílica é combinada com oxigênio ou outros elementos como

alumínio, magnésio, cálcio, sódio, ferro e potássio em mais de 95% das rochas terrestres, meteoritos, em todas as águas, atmosfera (na forma de pó silicoso) vegetal e animal (SAVANT et al., 1997; FERREIRA, 2008).

Na solução do solo, quando o pH do sistema situa-se abaixo de 9,0, encontra-se basicamente na forma de ácido monossilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$, cuja concentração depende do produto de solubilidade dos diferentes polimorfos de SiO_2 que o sistema mineral pode apresentar, além do efeito de outros minerais presentes que contêm Si capazes de controlar sua solubilidade (LEWIN & REIMANN, 1969; DREES et al., 1989).

Sua utilização proporciona aumentos significativos no desenvolvimento e rendimento de grãos em muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milho, aveia, trigo, milho, grama kikuyu, grama bermuda) e em espécies não gramíneas (alfaca, feijão, alfafa, tomate, pepino e repolho), bem como aumento da disponibilidade de silício no solo (VIDAL et al., 2011).

Existem, na literatura, resultados promissores com a utilização de silício na agricultura, para a cultura do arroz, tais como aumento do número de folhas, massa seca de plantas e número de espiguetes por panícula, melhor formação e qualidade da casca dos grãos, maior altura de plantas e maior teor e acúmulo na parte aérea da planta (LOPES, 1997; KORNDORFER et al., 1999; GONG et al., 2003; BITTENCOURT et al., 2004; TOKURA et al., 2007), entretanto, outros autores (BARBOSA FILHO et al., 1998; CARVALHO 2000; MAUAD et al., 2003) encontraram resultados diferentes, dependendo das doses de silício aplicadas, tipo de cultivar de arroz e solo, bem como condições ambientais.

2..2.1 Aplicação do silício

A utilização do Si tem sido difundida no Brasil nos últimos anos, principalmente após sua inclusão como um micronutriente na legislação de fertilizantes pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) por meio do decreto nº 4.954 de 2004 (BRASIL, 2004). A nutrição mineral é um dos fatores ambientais de fácil manipulação pelo homem visando ao controle de doenças em plantas cultivadas (PEREIRA et al., 2009). Os silicatos são aplicados no solo principalmente na forma sólida (pó ou granulado), mas também podem ser aplicados na forma líquida (via solo ou foliar).

Estudos sobre os efeitos da aplicação de Si em plantas, na forma de escória de siderurgia, quanto à absorção e produção das culturas, são escassos na literatura nacional,

havendo trabalhos com a cultura do arroz (PEREIRA et al., 2004; CARVALHO et.al., 2004) e cana-de-açúcar (ANDERSON, 1991).

A forma predominante de aplicação de Si é a de silicatos de cálcio e magnésio ao solo, que, além de serem fontes desse elemento, são corretivos da acidez (BARBOSA FILHO et al., 2000). Para a aplicação foliar de Si, a fonte mais utilizada tem sido o silicato de potássio (K_2SiO_3). Uma vantagem do Si na produção agrícola, é que a adubação à base de silicatos serve para a correção de acidez, substituindo o uso do calcário, um elemento fundamental em quase todos os solos brasileiros (KORNDÖRFER, 2003).

Pode-se fazer a aplicação foliar do Si, com resultados positivos em algumas culturas, como pepino, melão e abóbora, em que esse tipo de aplicação tem reduzido a severidade de algumas doenças (MENZIES et al., 1992). Em aplicação foliar tem-se o silicato de potássio, que tem um efeito antiestressante nas plantas. O silicato de sódio é utilizado há bastante tempo, principalmente na agricultura ecológica, no combate a pragas e doenças sendo aceito sem restrições na produção de alimentos orgânicos. Isto pode ser confirmado no Codex Alimentarius da FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação).

Existem poucas pesquisas em plantas forrageiras (FORTES, 2006) e que relatam informações sobre a relação entre o silício e outros nutrientes, como o nitrogênio. O nitrogênio é conhecido pelo seu efeito no crescimento nas plantas (MALAVOLTA et al., 1997), porém, a utilização da adubação nitrogenada pode provocar redução nos teores de Si em plantas de arroz e aveia (WALLACE, 1989), o que pode vir a causar a incidência de doenças e diminuição da produção das culturas. Segundo MALAVOLTA, (2006), o Si proporciona maior possibilidade de resposta à adubação para as plantas, principalmente, a adubação nitrogenada.

Segundo LIMA FILHO (2005), a utilização de fertilizantes à base de Si aumenta a eficiência da adubação NPK, fazendo com que haja uma menor lixiviação de potássio e outros nutrientes móveis no horizonte superficial. De acordo com SAVANT et al. (1997), essa prática tem causado efeitos sobre a nutrição de N, P e K às plantas, não sendo possível distinguir o efeito isolado da disponibilidade de Si do efeito de outros fatores indiretos relacionados com a composição e reação no solo dos materiais utilizados.

De acordo com ARANTES et al. (1999), em solos com baixos teores de Si, a adubação com silicato de cálcio e magnésio pode melhorar características químicas do solo, tais como o pH e a saturação por bases, além de neutralizar o alumínio tóxico, o que evita que tal elemento venha a comprometer o pleno desenvolvimento das plantas, por causa da sua

toxidez. Além disso, o Si é capaz de aumentar o potencial de retenção de água nos solos e melhorar a absorção dos nutrientes, enrijecendo o tecido, o que evita o acamamento e queda das flores e dos frutos, implicando em aumento de produtividade.

2.2.2. O Silício no solo

O Si é o segundo elemento mais abundante, em peso na crosta terrestre, sendo componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos (RAIJ, 1991). Considerando o avançado grau de intemperização dos solos tropicais, os teores de Si disponíveis são baixos e esse elemento é encontrado basicamente em formas não disponíveis às plantas (BARBOSA FILHO et al., 2001). Outro fator que contribui para essa redução de Si no solo é a sua extração por culturas acumuladoras, e que, geralmente, não é repostado por falta de uso de adubação silicatada (LIMA FILHO; LIMA; TSAI, 1999).

Os principais solos sob vegetação de Cerrado apresentam alto grau de intemperismo, com alto potencial de lixiviação, baixa saturação de bases, baixos teores de Si-trocável e baixas relações (Ki) $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e (Kr) Sílica/Sesquióxidos de Fe e Al, apresentando portanto, baixa capacidade de fornecimento de Si disponível para planta (BRADY, 1992; SILVA, 1973). Ocorre em concentrações elevadas em solos, principalmente, na forma de silicatos, e no quartzo (SiO_2 – mineral inerte nas areias).

De acordo com RAIJ & CAMARGO (1973) as principais formas de Si presentes no solo: Si solúvel (H_4SiO_4 – ácido monossilícico), que desprovido de carga elétrica, influencia positivamente no comportamento da sílica, com relação aos vegetais; Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e nos minerais silicatados (cristalinos ou amorfo). As solubilidades destes minerais dependem da temperatura, pH, tamanho de partícula, composição química e presença de rachaduras (rupturas) em sua estruturação (KORNDÖFER et al., 2004).

Segundo ELGAWHARY & LINDSAY (1972) e DREES et al. (1989), os valores da constante de equilíbrio para os óxidos de Si podem variar em torno de 10^{-4} para o quartzo até 10^{-2} , para a sílica amorfa, de acordo com a reação de solubilidade $\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Si}(\text{OH})_4$. A dissolução destes minerais também é afetada por fatores de solo como a matéria orgânica, umidade potencial de oxi-redução e teores de sesquióxidos (KORNDÖFER et al., 2004).

CAMARGO et al. (2003) estudou a disponibilidade de Si em amostras de solos da região do Triângulo Mineiro, encubados a 80% da capacidade de campo por 90 dias com

doses equivalente a aplicação de 0, 2, 4 e 6 ton/ha⁻¹ de calcário. A calagem proporcionou aumento dos teores de sílcio extraído em ácido acético para todos os solos estudados o que também ocorreu para teores de Si extraídos com CaCl₂ 0,1M nos solos arenosos. Entretanto, nos solos argilosos e muito argilosos os teores de Si extraídos com CaCl₂ diminuíram com as doses de calcário.

Em relação à disponibilidade do Si no solo, a textura do solo (teor de argila) tem sido considerada como um dos principais parâmetros para se prever a necessidade de Si para as plantas. Segundo KORNDÖFER, PEREIRA & CAMARGO (2002), a dose de Si a ser aplicada no solo depende da reatividade da fonte, do teor de Si no solo e da cultura considerada. A definição do extrator é outro aspecto fundamental a ser considerado na recomendação de adubos contendo Si. Vários extratores podem ser utilizados tais como a água, cloreto de cálcio (0,01), comum na Austrália e no Brasil e o ácido acético (0,5M) utilizado nos Estados Unidos.

O ácido monossilícico [(H₄SiO₄ ou Si(OH)₄], também denominado ácido ortossilícico ou simplesmente ácido silícico, forma disponível para as plantas, ocorre na solução do solo, na água doce e oceanos de todo o mundo, sendo predominante na solução do solo com pH menor que 7,0 JONES & HANDRECK, 1967). Acima desta concentração ocorre policondensação, produzindo ácido oligomérico e eventualmente, partículas coloidais de sílica hidratada (SiO₂.H₂O). A faixa de concentração típica de ácido silícico na solução dos solos é de 0,1 a 0,6 mM (EPSTEIN & BLOOM, 2006; BIRCHALL, 1995).

2.2.3. Absorção do Silício pelas plantas

O Si é absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico – H₄SiO₄ (YOSHIDA 1975; TAKAHASHI, 1996). No interior da planta, 99% de Si acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, o restante, 1% encontra-se na forma coloidal ou iônica (Yoshida, 1975). Frey-Wyssling, citado por JONES & HANDRECK (1967), sugere que sílica é absorvida pelas gramíneas através do fluxo de massa, por processo não seletivo.

O Si, ao ser absorvido pelas plantas, é facilmente translocado no xilema, e possui a tendência natural de se polimerizar. A absorção de Si em espécies cultivadas observaram que mais de 94% do Si absorvido pelo trigo foi transportado rapidamente para a parte aérea, concentrando-se nas folhas mais velhas, as quais continham até 11,8% de Si. Em plantas de

pepino , ao ser interrompido o suprimento de Si na solução, igualmente ao que acontece com o Ca (BARBER & SHONE, 1966).

Na planta, o Si se encontra nos tecidos de sustentação do caule e nas folhas, podendo ser encontrado também em pequenas quantidades nos grãos. O conteúdo médio de Si nas raízes é um décimo da concentração do caule. No arroz, o Si se acumula nas células da epiderme e nas das paredes das celular e, também, nos exudato de transpiração dos órgãos sob a forma de sílica coloidal.

O Si é um elemento químico envolvido em funções relacionadas com a transpiração, capaz de se concentrar na epiderme das folhas formando uma barreira mecânica á invasão de fungos no interior das células, dificultando também, o ataque de insetos sugadores e mastigadores (EPSTEIN, 1999).

O efeito da proteção mecânica do Si nas plantas é atribuído, principalmente, ao depósito na parede celular na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). A acumulação de sílica nos órgãos de transpiração, por sua vez, provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual, pela redução da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor.

As plantas cultivadas variam quanto aos teores de Si presentes no tecido vegetal. (Tabela 1). As plantas superiores podem ser classificadas, em relação ao acúmulo de Si, e pela relação Si/Ca na matéria seca como acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras (MIYAKE e TAKAHASHI, 1983). Algumas gramíneas forrageiras (SOEST,1970), o arroz e a cana-de-açúcar (KORNDÖFER et al.,1998) apresentam grande acúmulo de Si, sendo consideradas, portanto, como plantas acumuladoras de Si.

Tabela 1: Quantidade de Silício extraído pelas culturas:

Cultura	Parte da planta	% Si Mat. Seca	Si Extraído "estimado" Kg Há⁻¹
Arroz Sequeiro	Folha+colmo	1,16 - 1,49	150 - 200
	Casca	1,09 - 4,49	
	Grãos	traços - 0,08	
Aveia	Folha+colmo	1,09	50 - 70
Café	Folhas	0,20 - 0,30	50 - 60
Cana-de-açúcar	Bagaço	0,33 - 0,50	200-250
	Folhas	0,70 - 1,90	
Feijão	Folha jovem	0,63	20 - 30
Colonião	Folhas	1,48	60 - 80
Jaraguá	Folhas	3,91	60 - 80
Milheto	Folhas	2,7 - 4,3	90 - 100
Elefante/Napier	Folhas	1,93	70 - 90
Brachiaria	Folhas	0,80 - 1,08	60 - 80
Tomate	Folha jovem	0,03 - 0,05	20 - 30
Pepino	Folha jovem	0,79 - 1,23	80 - 90
Pepino	Folha jovem	0,40 - 1,40	80-90
Melão	Folha jovem	0,06 - 0,36	30 - 40
Alface	Folha jovem	0,03	20 - 30
Morango	Folha jovem	0,36	40 - 50
Rosa	Folha jovem	0,08 - 0,36	30 - 40
Milho	Folha+colmo	0,25 - 1,14	70 - 80
	Palha	0,11 - 0,49	
	Sabugo	0,05 - 0,43	
	Grãos	traços - 0,08	
Soja	Folhas	0,10 - 0,35	20 - 25
Sorgo Forrageiro	Folha+colmo	0,14 - 0,40	90 - 100
Sorgo Granífero	Folha+colmo	0,41 - 1,43	90 - 100
	Panícula	0,29 - 1,24	
	Grãos	0,24 - 0,49	
Trigo	Folha+colmo	0,51 - 1,69	60 - 70
	Casca	2,08 - 3,52	
	Grãos	traços - 0,12	

Fonte: Tabela adaptada de Korndörfer et al. (2003).

2.2.3.1. Absorção radicular do Silício pela planta de arroz

O silício é absorvido pelas raízes na forma de ácido monossilícico, e nessa mesma forma é transportado para a parte aérea da planta através do xilema. Nas folhas, a perda de água através da transpiração faz com que o ácido monossilícico se concentre e polimerize em sílica (SiO_2) e se depositando em diferentes tecidos da planta. Em raízes o transporte de Si no apoplasto, oriundo da solução solo para o simplasto é ocasionada por transportadores específicos (MA et al., 2008).

Na região apical das raízes (0 a 10mm) que constitui o meristema apical e na zona de alongamento a absorção é mais baixa que em outras regiões das raízes (YAMAJI & MA, 2007). Com isso, indica que a absorção de Si é mais alta nas regiões mais maduras das raízes. outro estudo mostra que a expressão do *Lsi1* é maior na fase de espigamento (YAMAJI & MA, 2007).

A absorção pelas raízes de ácido monossilícico, que possui uma carga neutra, ocorre pela membrana, das células epidérmicas, através do apoplasto ou simplasto. A membrana é hidrofóbica e não permite a entrada de água e conseqüentemente carregando o soluto, a passagem do ácido monossilícico para dentro da celulada raiz pode se ocasionar através da difusão ativa ou por canais de entrada de água (RAVEN, 2001).

A passagem do Si pode ocorrer pela membrana em locais específicos, como por proteínas que atuam na absorção do silício. Essa especificidade na absorção foi caracterizada recentemente para culturas como a de arroz e milho (MA et al., 2008; CHIBA et al., 2009; MITANI et al., 2009).

A dois tipos de transportadores envolvidos (influxo e efluxo) na absorção de silício pelas raízes. Os transportadores de influxo *Lsi1* (low silicon1) pertencem a uma proteína Nod26 (like major intrinsic protein) uma proteína intrínseca importante, e efluxo (*Lsi2*) a qual pertence ao grupo de transportadores de putativos de ânions. Tanto *Lsi1* e *Lsi2* estão localizados nas raízes (MA et al., 2008).

Outro transportador o *Lsi6*, encontra-se no lado adaxial das células do parênquima do xilema, na bainha e lamina foliar (arroz e milho) é responsável pelo descarregamento do xilema, na bainha e lamina foliar (MA et al., 2008).

2.2.3.2. Redistribuição do Silício na planta

A redistribuição quer dizer que é o movimento de um elemento de um lugar de residência para outro qualquer, o local de residência pode ser uma folha, raiz ou um ramo, o outro órgão que funciona como dreno pode ser uma outra folha ou outro ramo ou até mesmo um fruto (MALAVOLTA, 2006).

A redistribuição do silício foi estudada através da análise de Si de diferentes partes e posições das folhas e os resultados obtidos indicaram que o silício tem baixa mobilidade em plantas de arroz (YOSHIDA et al., 1962; FOX et al., 1969; SAMUELS et al., 2001).

O transporte do Si do solo para as células das raízes está relacionado aos transportadores de influxo e efluxo. O arroz pode acumular mais de 10% de Si na parte aérea da planta. Baseando na atividade de transporte do Lsi1, demonstra que é um transportador de influxo de Si, que é responsável pelo transporte da solução externa para as células das raízes (MA et al., 2006, 2008).

No sistema radicular as Lsi1 encontram-se nas raízes principais e laterais, mas não nos pelos absorventes e mostra a localização distante do centro das células e é responsável pelo transporte do ácido monossilícico da solução externa para dentro das células das raízes. Nas raízes de arroz, a proteína Lsi1 está localizada tanto na exoderme como na endoderme, onde existe a estria de Caspary (limitante na absorção de Si) (MA et al., 2006; 2008). Os resultados de um estudo, mostra que os pelos absorventes é ineficiente na absorção de Si, mas o aumento das raízes laterais contribuíram bastante para o aumento de absorção de Si (MA et al., 2001).

Após a caracterização do Lsi1, foi localizado o Lsi2, que é um gene responsável pela sinalização de um transportador de efluxo de ácido monossilícico, que é capaz de transportar o Si para fora das células. O Lsi2 está localizado no cromossomo 3 e consiste em dois éxons e um intrón, que codifica uma proteína da membrana com 11 domínios transmembranais, pertencente a um transportador putativo de ânions. A proteína codificada por esse gene está localizada, como Lsi1.

Tanto Lsi1 e Lsi2 estão localizados na exoderme e nas células da endoderme das raízes. O Lsi1 está localizado mais distante das células em relação ao Lsi2 que é localizado próximo as células, o qual é responsável pelo transporte de ácido monossilícico para fora das células (MA et al., 2008).

O transportador Lsi6, que é responsável pela distribuição do ácido monossilícico do xilema para outras partes da planta. O Lsi6 é expressado na bainha e nas lâminas foliares da folha e nas pontas das raízes (YAMAJI et al., 2008). A falta do transportador Lsi6 não afeta a absorção do ácido monossilícico, mas afeta a deposição de sílica nas bainhas e nas lâminas foliares.

O transporte do Si das raízes até a parte aérea é feita especialmente pelo apoplasto. O transporte de Si nas paredes celulares e espaços intracelulares para o lúmen das células e citosol envolvem difusão e fluxo de massa. Porém esse fluxo de massa pequeno e o transporte a longa distância são realizados pelo apoplasto no xilema e simplastos no floema, sendo que o soluto é transportado essencialmente por fluxo de massa (RAVEN, 2001).

O transporte do Si por Lsi1 e Lsi2 até o xilema e deslocado até a parte aérea a favor de um fluxo de transpiração, sendo que, mais de 90% do Si absorvido pelas raízes é deslocado até a parte aérea da planta (MA & TAKAHASHI, 2002). Após ser absorvido e transportado até a parte aérea o ácido monossilícico perde água e se deposita, na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) em diferentes tecidos, primeiramente nos tecidos mais jovens e posteriormente nas células mais senescentes sob a forma de sílica (SiO_2) (DAYANANDAM et al., 1983).

O transporte e a acumulação de Si podem ocorrer a favor de um fluxo de transpiração, sendo que a regulação do acúmulo pode ser regulado de acordo com a produção de matéria seca. A relação de acúmulo de matéria seca segue a curva sigmóide (JONES & HANDRECK, 1967). A acumulação de sílica é maior do que a parte aérea do que nas raízes, e é maior nas folhas mais velhas, e maiores na parte basal nas folhas mais velhas do que na parte apical de folhas mais jovens (WIESE et al., 2002).

2.2.4. O Silício nas plantas

Em plantas, o silício absorvido principalmente na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), o silício é depositado nos tecidos das plantas como sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), principalmente nas paredes celulares, que interagem com compostos fenológicos e pectinas, aumentando a rigidez e a força estrutural das plantas (CURRIE & PERRY, 2007).

O Si(OH)_4 é prontamente absorvido pelas plantas e, apesar de não ser considerado um elemento essencial, algumas espécies o absorvem em quantidades comparáveis ou bem superiores a macronutrientes essenciais (MARSCHNER, 1995). Praticamente, todo o Si absorvido é translocado das raízes para as folhas e, com a saída da água pela transpiração,

polimeriza na parte externa da parede celular (principalmente nas células da epiderme), transformando-se em um mineral amorfo de sílica denominado opala biogênica ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (LANNING et al., 1958).

As plantas diferem quanto à absorção de Si, sendo divididas em acumuladoras, intermediárias e não-acumuladoras, conforme o total de Si absorvido e a quantidade do elemento fornecida por fluxo de massa (MARSCHNER, 1995). As concentrações de valores de silício nas plantas podem variar até mesmo entre cultivares da mesma espécie, variando de a 0,1 a 10% podendo ter valores maiores ou menores a esses. As monocotiledôneas apresentam, normalmente, valores mais elevados de silício do que em dicotiledôneas (EPSTEIN & BLOOM, 2006; PILON-SMITS et al., 2009).

A relação de absorção de silício e o crescimento vegetal foi investigada pela primeira vez há mais de cem anos. Em diatomáceas o silício é um nutriente que é absorvido ativamente, o que pode ser provavelmente através do co-transporte com o sódio. A falta do silício na planta afeta negativamente a síntese de DNA e de clorofila nestes organismos (WENNER, 1977; RAVEN, 1983).

Sendo o silício desempenha um papel importante em relação a planta-ambiente, pois pode promover às culturas melhores condições para suportarem as adversidades edáficas, climáticas e biológicas, proporcionando um melhor resultado final, como na qualidade da produção. A utilização do silício se torna interessante na agricultura quando o consideramos um antiestressante natural.

Quanto maior a capacidade de absorção pelas raízes das plantas, transporte e acumulação na parte aérea, maior chance de a planta amenizar os efeitos dos estresses a qual foi submetida. Os principais benefícios possíveis de serem obtidos nas plantas com o uso de silicatos, são: aumento de produtividade, crescimento, resistência ao acamamento e a força mecânica do colmo, a atividade radicular a qual promove uma maior absorção de água e nutrientes, resistência a pragas e doenças, a proteção contra altas temperaturas, estresse salino, neutraliza o alumínio tóxico no solo, diminui a toxidez causada por metais pesados, aumenta a fotossíntese pelo fato das folhas mais eretas (TAKAHASHI, 1995; EPSTEIN, 1999).

2.2.4.1. O Silício em resposta à estresses

Em condições de estresses o efeito benéfico do Si nas plantas é mais evidente em cultivos (MA & TAKAHASHI, 2002). Segundo MA & YAMASHI (2006) isto ocorre porque o silício é capaz de proteger as contra vários estresses bióticos e abióticos.

O Silício minimiza os estresses de caracteres abióticos, incluindo estresses químicos como a sanilidade, toxidade provocada por metais e pelos desequilíbrios de nutrientes (MA & YAMASHI, 2006), também por estresses físicos como a seca, radiação solar, acamamento de plantas, altas e baixas temperaturas, e entre outros (EPSTEIN, 1999; MA & TAKAHASHI, 2002; RICHMOND & SUSSAMAN, 2003; MA, 2004).

No Brasil pesquisas relacionadas ao entendimento dos mecanismos que são envolvidos na tolerância aos estresses abióticos ainda são muito recentes, porem com os poucos dados obtidos demonstram potencial do elemento para a agricultura brasileira, pois reflete na estabilidade produtiva e, em muitas situações, em aumento de produtividade (ARRUDA, 2009; CRUCIOL et al., 2009).

2.2.4.2 Estresse Hídrico

A absorção do silício da solução do solo pelas plantas ocorre quando este se encontra na forma de ácido silico (H_4SiO_4) (TISDALE et al., 1993). Em plantas de arroz esse processo parece ser ativo, enquanto para outras espécies como trigo, girassol, pepino, soja e tomate, esse mecanismo parece ser passivo (MITANE & MA, 2005). Segundo DEREN et al. (1994) e MITANI & MA (2005) as plantas diferem bastante quanto a capacidade de absorção de silício.

Após o silício ser absorvido pelas plantas e a água ser perdida pela transpiração, este fica depositado no tecido da epiderme das folhas das plantas de arroz (SAVANT et al., 1997). Segundo OLIVEIRA & CASTRO (2002), em ambientes como os do Cerrado, o acúmulo de Si nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica, o que causa redução da transpiração por diminuir a abertura dos estômatos, limitando a perda de água (KORNDÖRFER; GASCHO, 1999; FARIA, 2000).

O transporte do silício é feito pelo xilema e sua distribuição depende das taxas de transpiração dos diferentes órgãos da planta. O elemento é imóvel na planta e em plantas de arroz é depositado nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos cascas e raízes (YOSHIDA et al., 1962), sendo que na lâmina foliar o acúmulo do silício é maior que na bainha foliar (TANAKA & PARK 1966).

Segundo YOSHIDA et al. (1959) o silício proporciona uma proteção mecânica da epiderme aumentando a sua resistência a seca. De acordo com HORIGUCHI (1988) e AGARIE et al. (1998) obtiveram uma menor taxa de transpiração em plantas de arroz que cresceram em meio que continha silício. YOSHIDA et al. (1962) ressalta que o Si que é acumulado nas lamina foliares, é provavelmente uma forma de dupla camada de sílica-celulose, o que geraria uma diminuição na permeabilidade ao vapor, limitando a perda de água através das cutículas foliares.

Grande maioria dos efeitos benéficos do silício em reduzir o estresse hídrico é atribuído à deposição do Si na parede celular de folhas, caules e raízes. A deposição aumenta a resistência da rigidez de paredes celulares e reduzir transpiração e ao acamamento das plantas (MA & YAMAJI, 2006). De acordo com DEREN et al. (1994) o acúmulo de Si na epiderme das plantas também determina alterações em sua arquitetura, que fica mais ereta, evitando o acamamento de plantas como, por exemplo, o arroz e a cana-de-açúcar.

A aplicação do Silício nas condições de seca, amenizou os efeitos do estresse, sendo associado ao aumento de capacidade de defesa antioxidante (GONG et al., 2005; ZHU et al., 2004; LIANG et al., 2003). A tolerância das plantas sob condições desfavoráveis principalmente ao estresse hídrico, tem sido associada ao acúmulo de prolina, o que pode se representar como um mecanismo regulador de perda de água mediante a redução do potencial hídrico celular (FUMIS et al., 2002), também pode ser relacionado por diferentes tipos de estresses ocasionando marcador bioquímico de alterações metabólicas (LIMA et al., 2004).

Segundo CHEN & KAO (1993) a prolina é um aminoácido sintetizado a partir do glutamato e da arginina sob condições fisiológicas normais, sendo o glutamato o caminho preferencial sob condições de estresse hídrico. A função desse aminoácido seria de proteger as células dos processos de desnaturação em condições de estresse hídrico e salino devido a alta solubilidade em água (SHEVYAKOVA, 1984).

Na literatura a prolina pode variar em função de diversos fatores, podendo ser como cultivares, época de ocorrência e duração do estresse. Vários trabalhos em arroz, relacionaram o estresse hídrico com o teor de prolina (DINGKUNH et al., 1991; LIMA, et al., 2014), trigo (FUMIS, 1996) e Feijão (SAWAZAKI et al., 1981, ROSSI et al., 1997; GUIMARÃES, 2001).

No entanto, existem contradições sobre a relação à função do acúmulo da prolina em plantas que foram submetidas ao estresse (DINGKUNH et al., 1991; SASILAKA; PASSAD, 1994; LIMA et al., 2004). Em alguns casos este acúmulo de prolina parece ser uma parte do processo de proteção contra o estresse hídrico (CRUCIOL et al., 2009). De acordo com

GONG et al. (2005) o efeito do no aumento da tolerância das plantas á seca é relacionado com o aumento da defesa antioxidativas, redução no dano oxidativo em moléculas funcionais nas membranas e manutenção de muitos processos fotossintéticos e fisiológicos na deficiência hídrica.

Existem muitos estudos que tem mostrado que a transpiração da folha de algumas plantas com a aplicação de Si é reduzida consideravelmente (AGARIE et al., 1998b). Este efeito pode está relacionado por ser devido à redução na taxa de transpiração com o engrossamento da cutícula sob o efeito da deposição sílica sobre a mesma. Segundo AGARIE et al. (1998) o fornecimento do silício pode reduzir a taxa de transpiração e a exsudação de eletrólitos das células, prevenindo a deterioração estrutural e funcional da membrana celular de plantas de arroz com deficiência hídrica.

As plantas de arroz possuem uma cutícula delgada e uma formação de uma cutícula com dupla camada sílica, pode diminuir significativamente a transpiração cuticular. Segundo MA et al. (2001) o Si pode aliviar estresses hídricos com a diminuição da transpiração. Com o estresse hídrico provoca o fechamento dos estômatos, e diminui a taxa fotossintética. Com isso o Si estimula o crescimento do arroz sob a condição de deficiência hídrica do que a condição sem o estresse hídrico (MA, 1990).

2.2.4.3. Estresse salino

Um estresse abiótico que tem sido reduzido com a aplicação de Si é a salinidade (EPSTEIN, 1999). De acordo com GUNES et al. (2007), derterminaram que o fornecimento de silício proporcionou uma maior produção na materia seca e com um aumento no teor de prolina em plantas de cevada expostas ao excesso de sódio no solo.

Sob o estresse salino, para o arroz cultivado com a aplicação de silício proporcionou redução na translocação de Sódio para a parte área, ao que reflete em aumento na produção de matéria seca em relação a plantas estressadas sem a aplicação de silício (MATOH et al. 1986).

Uma explicação para a redução do estresse salino é de que com a translocação do sódio para a parte área da planta está relacionada com a transpiração e como o silício acarreta na redução da transpiração, o benefício do Si para o estresse salino poderia estar relacionado a isso (MA et al., 2001). Para MA & YAMAJI (2006) outra explicação seria que o efeito da aplicação do Si resultaria na redução do fluxo de circulação de apoplastico e proporciona

sítios de ligação para metais, resultando na diminuição da absorção e translocação de metais tóxicos e sais das raízes para a parte aérea.

2.2.4.4. Estresse por baixa temperatura

Em estudos com a absorção de Si em pepino, arroz, milho e girassol e entre outros, constata que folhas de plantas tratadas com a adição de Si sob o cultivo hidropônico em baixa temperatura, cerca de 0-4°C, obtiveram resultados mais tolerantes a murcha ocasionada pelo frio, e o aumento na capacidade de absorção de nutrientes na raiz foi maior (LIANG et al., 2006).

Segundo LIANG et al. (2008) o Si poderia reduzir os danos ocasionados pelo frio, através das alterações bioquímicas nos compostos de defesa antioxidantes, já que o Si atua nesse processo em condições de estresses hídricos e salinos.

2.2.4.5. Estresse ocasionado por alta temperatura

O trabalho de AGARIE et al. (1998), mostraram resultados que o silício tem um efeito atenuador do estresse provocado pelas altas temperaturas. Foi apresentado os efeitos da alta temperatura no extravazamento de eletrólitos das folhas de arroz, onde as folhas com tratamento com Si obtiveram um menor extravazamento do que as plantas sem Si, com os resultados pode sugerir que o Si está envolvido também com estabilidade térmica da membrana celular.

Nas condições onde se eleva a temperatura, as proteínas e lipídeos que compõe as membranas celulares são alterados. Essas alterações da temperatura, é um fator chave para a regulação da resistência ao calor pelas plantas (SOMERVILE & BROWSE, 1991).

2.2.4.6. Estresse por alumínio

O alumínio (Al) na solução do solo é tóxico às plantas, interrompendo ou diminuindo a divisão celular e, conseqüentemente, o crescimento radicular. Além disso, o Al também influencia negativamente os processos fisiológicos, como alterações na homeostase celular do cálcio e nas proteínas de transporte na membrana (SUN et al. 2010; GARZON et al. 2011, GUO et al. 2012). Essas ações negativas mediadas pelo Al, a eficiência de absorção de água e

nutrientes das raízes é diminuída, especialmente em camadas mais profundas do solo (MENDONÇA et al. 2003, SUN et al. 2010).

Plantas de arroz de terras altas, apesar de serem consideradas tolerantes ao Al (FAGERIA, 1998), quando expostas a solos com saturação por Al superior a 25 % podem manifestar sintomas de toxidez (EMBRAPA, 2007). NHAN & HAI (2013) citam a amenização da toxidez causada por Al em plântulas de arroz, com a aplicação de Si. SINGH et al. (2011) também descreveram a atuação do Si no decréscimo da toxidez causada por Al, em plantas de arroz, bem como decréscimo no acúmulo de Al.

No interior da planta, uma das hipóteses para explicar a menor toxidez por Al na presença de Si é a formação de compostos aluminossilicatos na parede celular do córtex da raiz, inibindo a movimentação do Al para o protoplasma. Com isso, o efeito tóxico causado pelo Al seria reduzido, otimizando a absorção de nutrientes como efeito indireto, devido à menor toxidez causada às raízes (MA & YAMAJI 2006). Ainda, RYDER et al. (2003) citam que a amenização do estresse por Al por meio do Si ocorre devido à combinação das reações no solo e no interior da planta.

2.2.5. Silício como defensivo para as plantas

A ação benéfica do Si tem sido associada a diversos efeitos indiretos, dentre os quais, destacam-se: o aumento na capacidade fotossintética, aumento da resistência mecânica das células à invasão de fungos e ao ataque de insetos sugadores e mastigadores, plantas mais eretas, redução da transpiração, diminuição do efeito tóxico do Fe, Mn e outros metais pesados (ELAWD & GREEN, 1979; DATNOFF et al., 1991).

No manejo de pragas a resistência induzida de plantas a insetos é uma estratégia em potencial, que pode provocar mudanças tanto na quantidade e na qualidade de compostos do metabolismo secundário e de proteínas de defesa e das barreiras estruturais da planta (VENDRAMIM & FRANÇA, 2006; MASSEY et al., 2007). O Si é um dos elementos que pode agir como um elicitador no processo de resistência induzida (FAWE et al., 2001).

Segundo MORAES (2015) planta resistente é aquela que mesmo sendo cultivada nas mesmas condições de solo e clima, com outras de sua mesma espécie, essa sofre menos danos que outras, devido sua constituição genotípica. Assim é resistência hereditária sendo passada para os descendentes, e relativa pois a mesma só tem significado quando se compara com no mínimo dois ou mais genótipos.

O uso de variedades resistentes de acordo com (LARA, 1991) como tática única de manejo, fica ainda mais interessante quando uma pequena população residual de insetos não atinge o nível de controle, ocasionando assim uma perda insignificativa e não gerando perdas econômicas. Essa técnica pode ser usada com outras táticas e sendo perfeitamente integrada.

O investimento das plantas em um sistema de proteção secundária é energeticamente dispendioso, e tais sistemas são ativados, frequentemente, apenas como resposta a predação ou outros causadores de estresse, como clima adverso, pragas e doenças. Entre esses causadores de estresse, como clima adverso, pragas e doenças. Entre esses compostos podem ser citados os flavanóides, os taninos, os cumarinos, as saponinas, as cutinas, os alcaloides e o Si (SOEST, 1994). NELSON & MPSEY (1994) afirmam que a síntese e o acúmulo de vários destes compostos naturais evoluíram, conforme as plantas foram se adaptando à grande diversidade de ambiente, sendo observado que, a proteção fornecida pelo Si às plantas está relacionada com a resistência aos efeitos tanto bióticos quanto abióticos (EPSTEIN, 1999).

Segundo LIMA FILHO (2005), o Si acumula-se na epiderme das folhas servindo de barreira física para determinados patógenos e insetos e pode, também, ativar genes que sintetizam compostos secundários do metabolismo vegetal, polifenóis e enzimas relacionadas com a defesa da planta, quando absorvido pelas raízes junto com a água. O Si regula, também, a perda de água da planta por transpiração, isto é, o elemento se acumula na epiderme foliar junto a células-guarda dos estômatos e a outras células epidérmicas, sendo esses depósitos de sílica nos tecidos foliares que promovem a redução na taxa de transpiração (DAYANANDAM et al., 1983).

2.2.5.1 Utilização do silício no controle de pragas

O Si é um elemento que pode agir como um elicitador no processo induzindo ao aumento de resistência das plantas (FAWE et al., 2001). No manejo de pragas essa resistência induzida de plantas a insetos, é uma estratégia em potencial, pode provocar mudanças tanto na quantidade e na qualidade de compostos do metabolismo secundário e de proteínas de defesa e das barreiras estruturais da planta (VENDRAMIM & FRNÇA, 2006; MASSEY et al., 2007).

Em seu movimento ascendente via apoplasto desde as raízes até as folhas, o Si polimeriza-se nos espaços extracelulares, acumulando nas paredes das células epidérmicas das folhas e dos vasos do xilema (FAWE et al., 2001). Contudo, a alteração da nutrição da planta promovida pela adubação silicatada e a observação de aumento da atividade de enzimas como

peroxidase e polifenoloxidase, presença de fitoalexinas em plantas suplementadas com Si, Levantaram também a hipótese de seu envolvimento na indução das reações de defesa da planta (BELANGER & MENZIES, 2002; BÉLANGER Et al., 2003; POZZA Et al., 2004).

No Brasil, a broca do colmo *Diatraea saccharalis* também pode reduzir a produtividade da cana-de-açúcar. Embora ela seja controlada com o emprego de métodos biológicos e/ou variedades resistentes, os seus danos podem ser reduzidos com a aplicação de Si, conforme mostrado por ELAWAD, STREET & GASCHO (1982).

Em condições de campo, CAMARGO, KORNDÖRFER & FOLTRAN (2014), utilizando doses de até 165 kg ha⁻¹ de Si, aplicadas no sulco de plantio como silicato de cálcio, obtiveram redução linear dos danos de broca nas variedades de cana-de-açúcar Sp89-1115 (suscetível à broca) e IAC87-3396, em cana-planta, e aumentos do teor de Si no colmo e da produtividade (Figura 2)

DJAMNI & PATHAK (1967) estudaram variedades de arroz resistentes, moderadamente resistentes e suscetíveis ao ataque da broca do colmo (*Chilo suppressalis*) em condições de campo. Eles verificaram que quanto maior o teor de Si nas hastes, menor a ocorrência de danos (coração morto) nas plantas, sugerindo que o alto teor de Si na planta interfere na alimentação das larvas e causa desgaste de suas mandíbulas. Além disso, foi observada maior mortalidade de insetos em variedades de arroz com maior teor de Si.

O desgaste das mandíbulas de lagartas desfolhadoras em plantas supridas com Si foi reportado em milho. GOUSSAIN et al. (2002), avaliando lagartas do 1º ao 6º ínstar de *Spodoptera frugiperda*, (Lepdoptera: Noctuidae) verificaram que aquelas alimentadas com folhas de plantas supridas com Si apresentaram maior desgaste na região incisora, além de maior mortalidade a partir do 2º instar (Figura 2). Mostrando que o Si aplicado ao solo e absorvido pelo milho, pode proteger as plantas do ataque da lagarta, uma vez que dificulta sua alimentação, aumentando sua mortalidade e canibalismo.

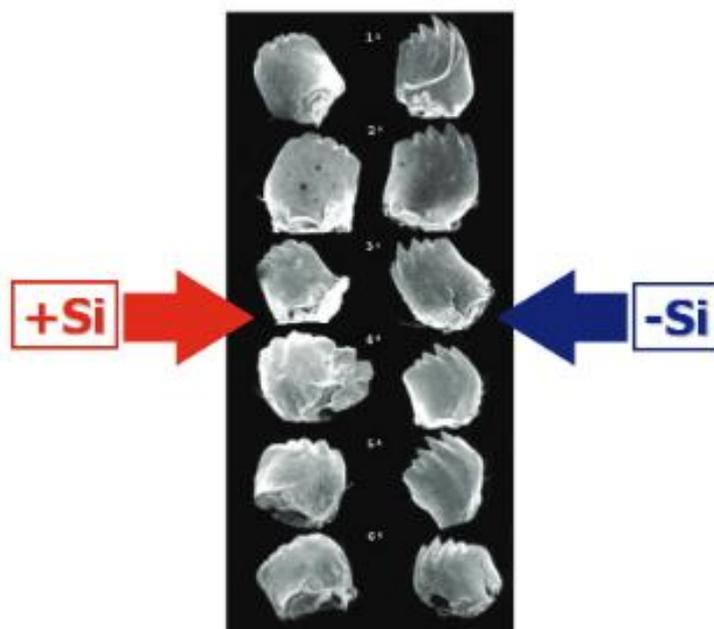


Figura 2: Mandíbulas de lagarta do cartucho do 1º ao 6º ínstar alimentadas com plantas de milho supridas ou não com Si.
Fonte: GOUSSAIN et al. (2002).

2.2.5.1. Utilização do silício contra patógenos

O aparecimento de doenças na cultura do arroz irrigado tem sido motivo de preocupação, principalmente, a ocorrência de brusone nos campos de produção. A brusone tem como agente causal o fungo *Pyricularia oryzae* que afeta lavouras em todas as regiões produtoras, ocorrendo tanto em arroz cultivado em terras altas como em várzeas (PRABHU & FILIPPI, 2006; WORDELL FILHO et al., 2013). Seu controle é baseado, principalmente, no uso de cultivares resistentes e fungicidas aplicados em parte aérea. O uso de fungicidas resulta em aumento no rendimento industrial pela redução da severidade foliar de doenças fúngicas (BORDIN et al., 2016).

No estado do RS com a implantação da tecnologia clearfield, tem mais de 70% de área semeada com cultivares suscetíveis à doença, que na safra de 2014/15 cerca de 96% da área semeada de todo estado tiveram pelo menos uma aplicação de fungicida (IRGA, 2016). Dessa forma, a utilização do controle químico, através da aplicação de fungicidas tem contribuído para manter elevadas produtividades e garantir a qualidade do grão (CAMARGO et al., 2008).

Devido a crescente demanda por alimentos, observa-se aumento na utilização de defensivos, sendo que o uso indiscriminado e contínuo destes, pode acarretar poluição dos recursos naturais e aumento da variabilidade do patógeno, tornando-o resistente a certos grupos de fungicidas (ZAMBOLIM; VENTURA; ZANÃO JÚNIOR, 2012).

A diminuição da severidade de doenças com aplicações de silício foram relatadas em cana-de-açúcar (REIS et al., 2013), arroz (SCHURT et al., 2015), soja (OLIVEIRA et al., 2015), feijão (CRUZ et al., 2014), algodão (CURVÊLO et al., 2013), morango (SILVA et al., 2013) e abobrinha de moita (RAMOS et al., 2013). No entanto, há pesquisas em que a aplicação de silício não apresentou influência para as culturas de arroz irrigado (MARCHEZAN et al., 2004), arroz de terras altas (MAUAD et al., 2003) e trigo (WORDELL FILHO et al., 2013).

As culturas mais responsivas ao uso de silício são conhecidas como plantas acumuladoras, por possuírem teores de Si acima de 1 g kg^{-1} em sua massa seca, destas, culturas como a cana de açúcar e o arroz irrigado merecem destaque (RAMOS; KORNDÖRFER; NOLLA, 2008). Ainda assim, plantios consecutivos de arroz são responsáveis pela diminuição do teor de silício às plantas, contribuindo para a menor deposição de sílica na parede externa das células da epiderme favorecendo o ataque de patógenos (MAUAD et al., 2013). A diminuição do teor de silício nas plantas de arroz também está associada ao fornecimento de altas doses de N, que em condições climáticas favoráveis ao ataque do patógeno predispõem as plantas de arroz a maior severidade de doenças (ZAMBOLIM; VENTURA; ZANÃO JUNIOR, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para produzir a análise cienciométrica, foi realizado pesquisas nos meses de agosto à novembro de 2017, na base de dados de toda rede SciELO (Scientific Eletronic Library On Line), no Google Scholar (apenas trabalhos publicados) e no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). As buscas ocorreram associando os termos Arroz ou *Oryza sativa* com as seguintes palavras chave: Silício, *Oryza sativa*, Benefícios. A busca teve o objetivo de encontrar artigos que envolviam pesquisas com metodologias mono e multiespecíficas para a cultura e objetivo avaliado.

As ferramentas de pesquisa são sistemas que fazem indexação de documentos utilizando programas que vasculham a rede mundial de computadores em busca de documentos para incorporarem à sua base de dados (MENDONÇA, 2009)

A SciELO - Scientific Electronic Library Online (<http://www.scielo.br>) é uma biblioteca virtual de revistas científicas brasileiras em formato eletrônico. Ela organiza e publica textos completos de revistas na Internet/Web, assim como produz e publica

indicadores do seu uso e impacto. A biblioteca opera com a Metodologia SciELO, que é produto do Projeto para o Desenvolvimento de uma Metodologia para a Preparação, Armazenamento, Disseminação e Avaliação de Publicações Científicas em Formato Eletrônico (PACKER, 1998).

O Google Acadêmico (GA) têm surgido, buscando esclarecer sua potencialidade e confiabilidade como instrumento de recuperação de informações científicas. Patrocinado pelo Google, um dos motores de busca mais utilizados mundialmente, a versão acadêmica traz em si as mesmas incertezas, podendo-se questionar como uma ferramenta tão eficiente pode ser oferecida gratuitamente, ou qual o modelo de negócio de seus criadores. Alguns anos depois de sua criação, a empresa Google cresce vertiginosamente, comprovando que a informação é, se não o mais rentável, um dos bens de consumo mais rentáveis da atualidade. (MUGNAINI & STREHL, 2008).

O Portal Capes que reúne cerca de 100 bases de dados de indexação e resumo de documentos publicados em todas as áreas do conhecimento e textos completos de artigos de mais de 12 mil periódicos nacionais e internacionais. O acesso ao Portal Periodicos Capes (www.periodicos.capes.gov.br) pode ser realizado através das bibliotecas das IES por ela autorizadas. Outras fontes de informação acadêmica de acesso livre, também estão disponíveis neste mesmo Portal Capes. (acessolivre.capes.gov.br)

A internet possibilitou que a indexação dos artigos científicos fosse feita pelos motores de busca, que recuperam os conteúdos disponibilizados na Web (MUGNAINI & STREHL, 2008).

Nas pesquisas não será estabelecida a delimitação temporal, visto que o foco do trabalho será bastante objetivo. Portanto, não haverá expectativa de filtrar um volume grande de artigos. Os termos também serão procurados no título, resumo ou palavras-chave dos artigos. Utilizará asterisco depois de cada termo para que a busca fosse feita com palavras no singular e plural, assim como as formas variantes.

Para a realização desse trabalho, as seguintes variáveis respostas serão coletadas: (i) Ano de publicação dos artigos encontrados dentro do objetivo deste trabalho; (ii) Periódico em que o artigo foi publicado; (iii) Primeiro autor do artigo encontrado; (iv) Resultados estatisticamente positivos para a adubação com silício e desempenho do arroz; (v) Diferentes quantidades de adubação utilizadas nas metodologias das pesquisas; (vi) Resultados sobre produção nas diferentes quantidades de adubação nitrogenada; (vii) Estado brasileiro no qual

o experimento foi desenvolvido. Com estas variáveis, será possível mensurar características sobre a importância do Silício na cultura do arroz.

Após a coleta de artigos e informações, primeiro será utilizada a metodologia estabelecida por COOPER (2016) para realizar a meta-análise estatística na qual, o resultado indica apenas a direção das informações encontradas na pesquisa, possibilitando computar a quantidade de resultados estatisticamente significativos para o efeito benéfico ou o oposto da hipótese. Calcularam-se também informações básicas da estatística descritiva da amostra: a) Medidas de tendência central: moda, média e mediana; e, b) Medidas de dispersão: valores mínimos e máximos, desvio-padrão e variância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pesquisas foram realizadas do dia 5 de setembro ao dia 15 de novembro de 2017, primeiramente foi realizado pesquisas nos motores de busca: Google scholar e Portal periodicos Capes, e posteriormente no SciELO(Scientific eletronic library Online). As pesquisas foram realizadas com as seguintes palavras chaves: Benefícios *Silício* *Oryza sativa**. Foi utilizado asteristico(*) na pesquisa afim de ter maior aplicação nas buscas. Foi descartado citações e patentes das pesquisas, tendo em vista apenas trabalhos disponíveis na internet.

No motor de pesquisa Google acadêmico (Google Scholar), obteve-se 569 resultados com a pesquisa relacionada as palavras chaves estabelecidas para a pesquisa cienciométrica, foram delinhados os resultados em distribuição temporal dos trabalhos obtidos em de acordo com o ano de publicação (Gráfico 1).

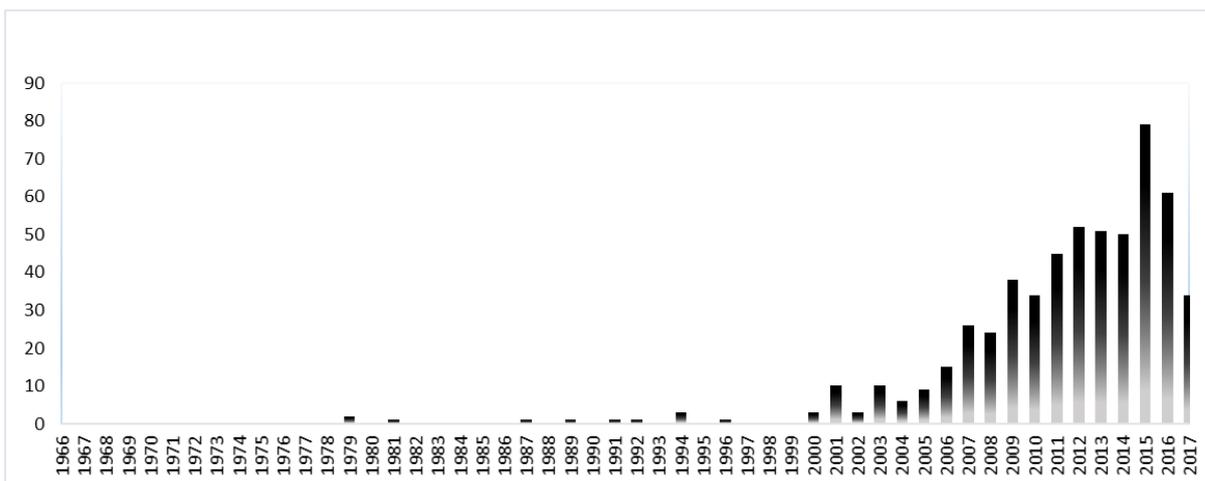


Gráfico 1: Distribuição temporal dos artigos científicos resultantes de pesquisas com silício no período de 1966 a 2017 recuperados na base de dados Google scholar.

Na Gráfico 1, os resultados não foram todos relacionados diretamente a cultura, obteve-se dos 569 resultados, apenas 115 artigos relacionados á cultura do arroz, isso pelo fato de ser visível nesse motor de busca um aspecto de identificar artigos com essas palavras chaves no corpo de texto desses trabalhos, e assim aumento o resultado de busca, e não obtendo apenas resultados relacionados à busca feita. A utilização do asterisco(*) diminui esses resultados e deixando a pesquisa mais específica, sendo que a não utilização desse instrumento, os resultados seriam maiores abrangindo ainda mais as pesquisas com essas palavras chaves e sendo de menor eficácia nos resultados.

Na pesquisa feita no Periódicos Capes, foi realizado com as mesmas palavras chaves, sendo que os resultados foram menores, apesar de ter sido usado um instrumento de extensão dos resultados, o qual é oferecido por esse motor de busca. Os resultados foram de 335 artigos recuperados de 1966 à 2017, da mesma forma dos resultados do Google scholar, esses resultados também foram delinhados e distribuídos de acordo com o ano de publicação (Gráfico 2).

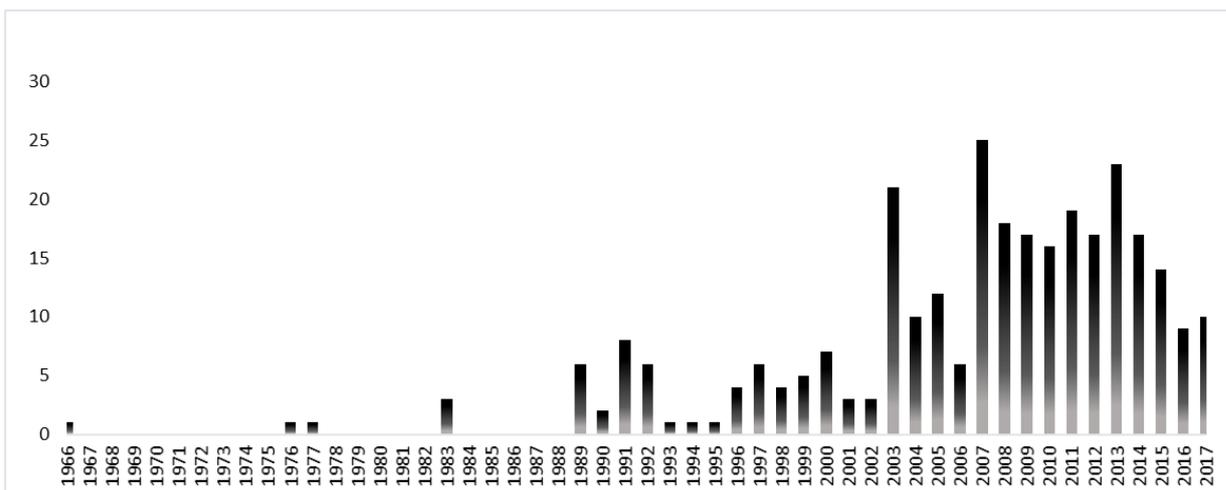


Gráfico 2: Distribuição temporal dos artigos científicos resultantes de pesquisas com silício no período de 1966 a 2017 recuperados na base de dados Periódicos Capes.

Os resultados obtidos no Periódicos Capes, foram mais precisos, tendo um maior numero de artigos obtidos, dos 335 artigos obteve-se 280 artigos específicos com as palavras chaves, tendo 83, 53% de eficácia nos resultados.

No motor de pesquisa SciELO, foi recuperado 57 artigos relacionados ao silício, sendo que utilizados as mesmas plavras chaves, e que apenas 44 artigos foi relacionado a cultura pesquisada, tendo 77,19% dos resultados relacionados à cultura, assim como os demais motores de busca, os resultados deste obtidos, também foram delinhados em uma distribuição temporal de acordo com o ano de publicação (Gráfico 3).

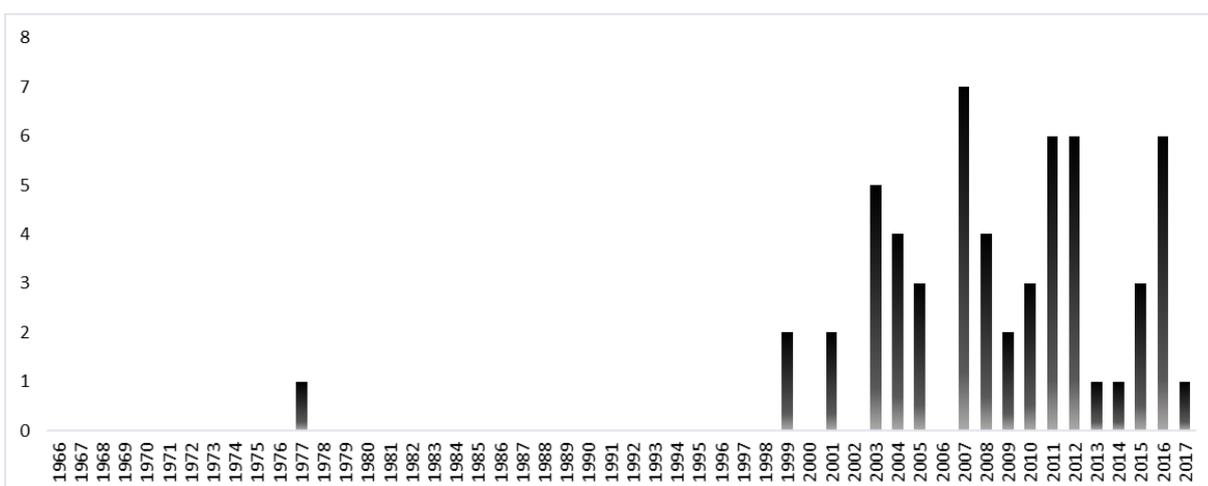


Gráfico 3: Distribuição temporal dos artigos científicos resultantes de pesquisas com silício no período de 1966 a 2017 recuperados na base de dados SciELO.

Nesse motor de busca obteve-se, resultados mais concentrados apartir do ano 1999, sendo que o SciELO teve menor resultados que os demais motores de busca.

O acesso aos motores de busca foram realizados no Centro Universitário de Anápolis-UniEvangélica, sendo que o SciELO e o Periódicos Capes por serem privados, esses resultados obtidos nesses motores podem não ser todos os artigos publicados, tendo em vista que muitos artigos podem ou não terem sido disponibilizados totalmente podendo ter limitações nas buscas.

Dentre todos os resultados nos motores de pesquisa, teve-se um total de 269 trabalhos publicados relacionados diretamente à cultura do arroz. Estes trabalhos também foram postos em uma linha temporal de acordo com o ano de publicação (Gráfico 4). Pode-se observar o ano de publicação dos artigos que foram selecionados para composição do trabalho. A publicação dos artigos relacionados a cultura do arroz torna crescente a partir do ano 1996, essas publicações se concentraram no ano de 2007.

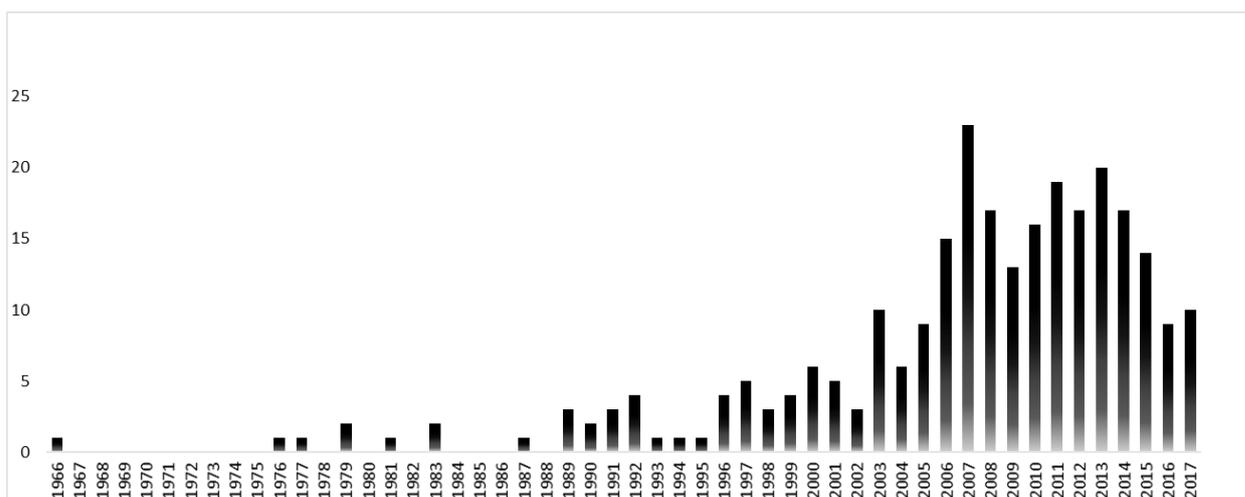


Gráfico 4: Linha temporal de trabalhos relacionados diretamente a cultura do arroz de acordo com o ano de publicação.

O Estado de Minas Gerais foi o que teve uma maior concentração de desenvolvimento dos experimentos, sendo sede para condução de diversos experimentos. Podemos afirmar isso observando a o Gráfico 5. Logo em seguida o estado de São Paulo foi responsável por 24 artigos publicados.

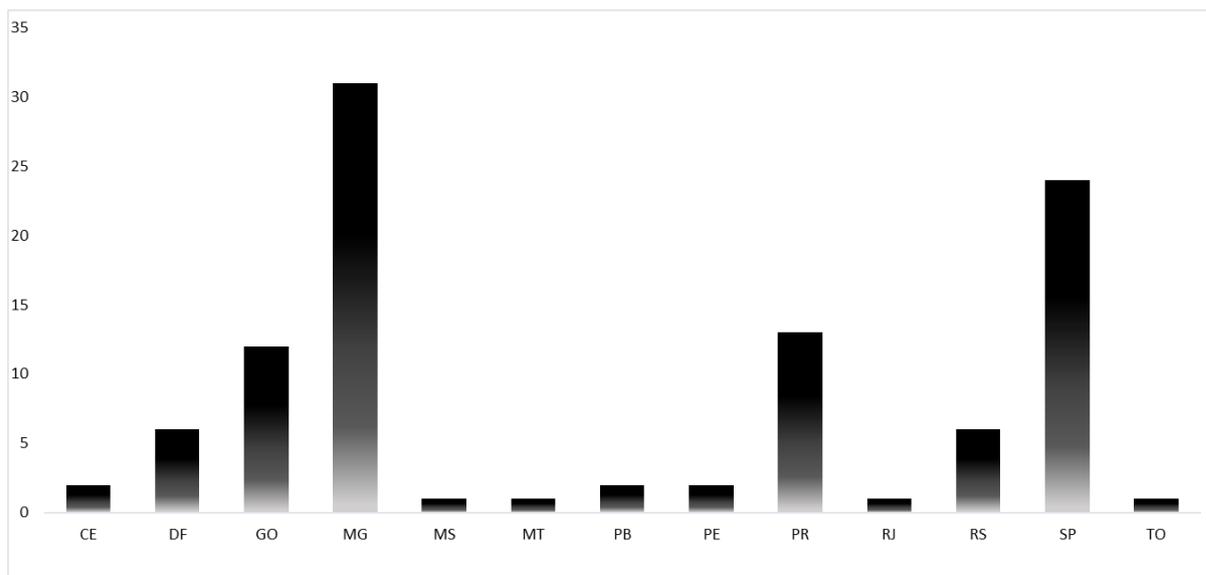


Gráfico 5: Estados do Brasil que teve artigos publicados a utilização do Silício na cultura do arroz.

A concentração de pesquisas nos estados de Minas Gerais e São Paulo pode ser consequência da concentração de instituições de pesquisa e importância do cultivo, respectivamente. Visto que no território paulista existem diversos centros de excelência destacados na investigação da utilização do silício na cultura do arroz. Em Minas Gerais a maioria dos trabalhos publicados foram da Universidade Federal de Viçosa e da Universidade Federal de Lavras, mostrando grandes destaques em artigos publicados.

As pesquisas sobre os benefícios proporcionados à cultura do arroz com a incrementação do Silício, foram diversos, mas tendo uma maior tendência fontes de Silício e a melhoria da fisiologia, aumento de resistência da planta à doenças e resposta aos estresses sofridos na cultura, seja eles hídricos, salinos, ou mesmo por alta ou baixa temperatura (Gráfico 6).

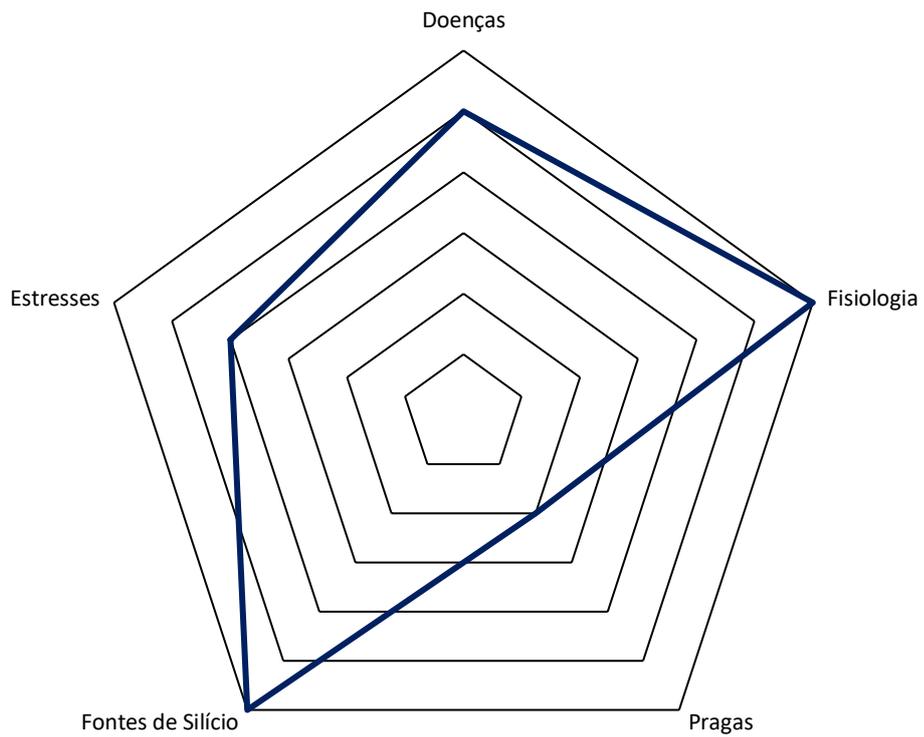


Gráfico 6: Tendência das pesquisas realizadas na cultura do arroz com adição do Silício.

Os trabalhos publicados são especificamente 56,25% de Artigos científicos, 28,57% Dissertações de mestrado, 10,7 % de Teses de Doutorado, 3,36% foi de Circulares Técnicas e 1,12% de Trabalhos de Conclusão de Curso (Gráfico 7).

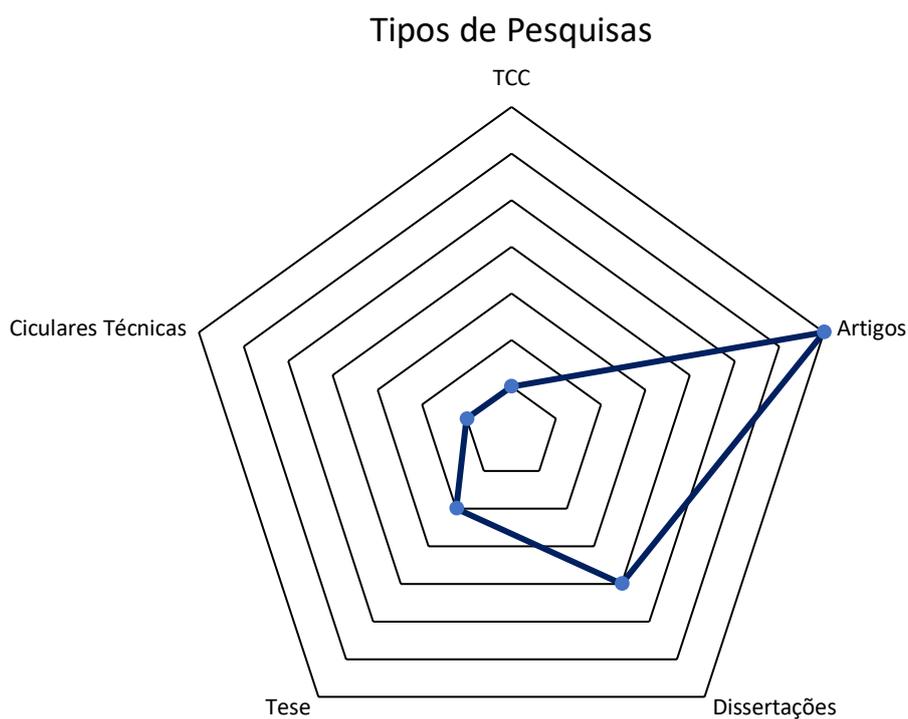


Gráfico 7: Tipos de pesquisas realizadas com Silício na cultura do Arroz.

A Revista Brasileira de Ciências do solo foi a que teve maiores publicações relacionados aos artigos selecionados para a Análise Ciênciométrica. A Universidade Federal de Viçosa ficou logo atrás com suas publicações (Gráfico 8).

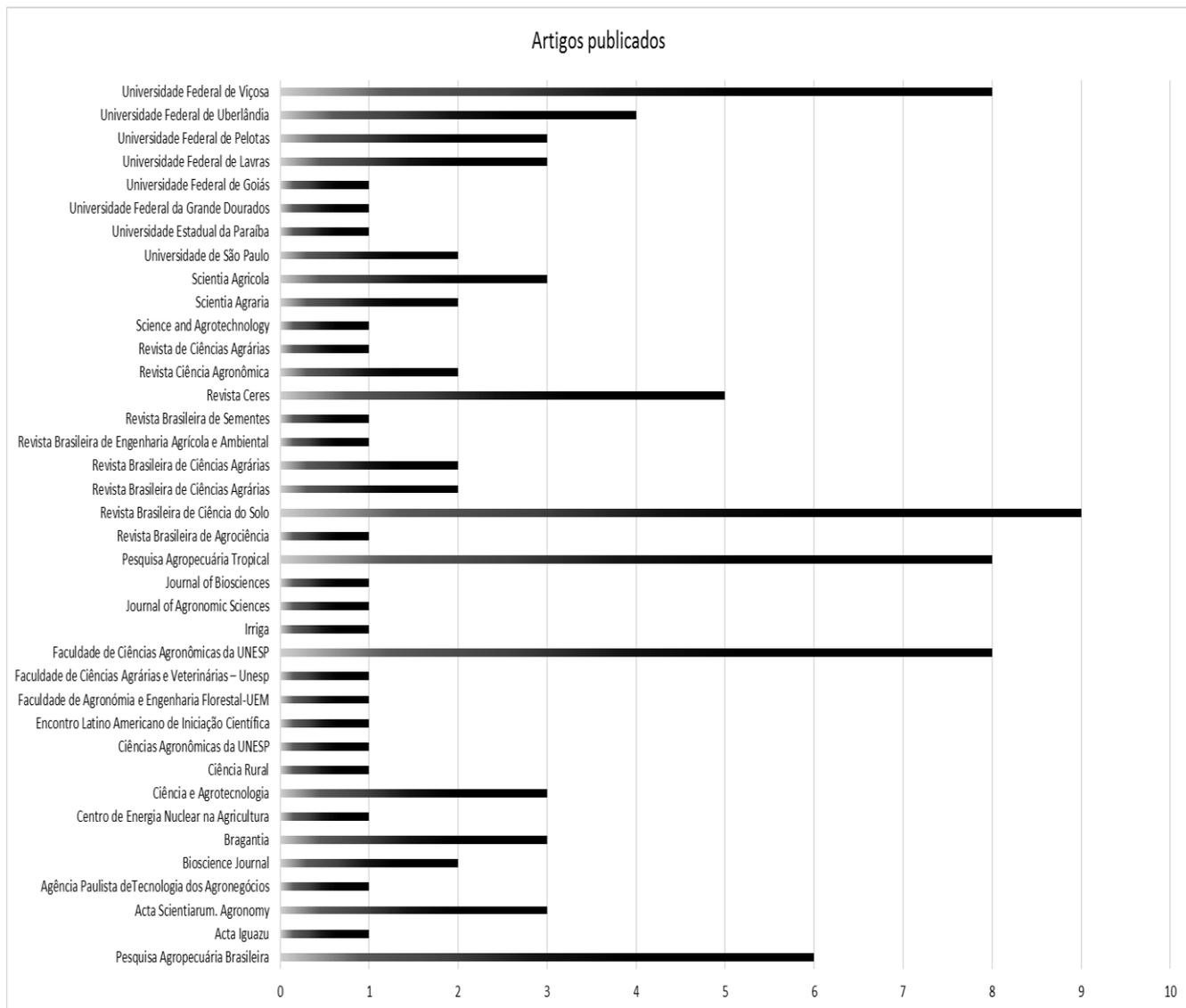


Gráfico 8: Lista de Revistas e Faculdades quais publicaram artigos científicos utilizados na análise cienciométrica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo mostrou o grande avanço nas pesquisas relacionadas à cultura do arroz com a utilização do Silício a partir do ano de 1996 ao ano de 2017, sendo no Brasil os trabalhos se concentraram nos Estados de Minas Gerais e São Paulo. A maioria dos trabalhos publicados se tratavam de Artigos científicos e de Dissertações de Mestrado, dando ênfase nas pesquisas relacionando as melhorias na fisiologia e aumento de resistência à doenças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARIE S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W.; KAUFMAN, P. B. Effects of silicon on tolerance to water déficit and heat stress in Rice plants(*oryza sativa L.*), monitored by electrolyte lakage. **Plant production science**. P 96-103,1998.

AGARIE, S.; et al. Effects of Silicon on Transpiration and Leaf Conductance in Rice Plants (*Oryza sativa L.*) **Plant production science**. P 89-95, 1998.

ARANTES, V.A. et al. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p.623-629, jul/set. 1999.

BARATA, T. S. **Caracterização do consumo de arroz no Brasil: um estudo na região metropolitana de Porto Alegre**. Dissertação(Mestrado em Agronegócios) –CEPAN, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BARBER, D.A.; SHONE M.G.T> The absorpction of silica from aqueous solutions by plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 17, p 569-578. 1966.

BARBOSA FILHO, M.P. et al. Importância do silício para a cultura do arroz (uma revisão de literatura). **Informações Agronômicas**, n.89, p.1-8, 2000.

BARBOSA FILHO, M.P. et al. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: FÉRBIO, 23., 1998, Caxambu. **Anais...LAVRAS: UFLA/SBCS/SBM**, 1998.

BITTENCOURT, M. F. et al. Concentração de silício e pH do solo afetados pela incubação de diferentes fontes silicatadas no solo: In: **SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA**, 3., 2004, Uberlândia. **Anais...Uberlândia: GPSI/ICIAG/UFU**, 2004. 1 CD-ROM.

BORDIN, L. C. et al. Critical-point models to relate yield and disease intensity of the multiple pathosystem in rice leaf spots disease. **Ciência Rural**, v. 46, p. 7-12, 2016

BRADY, N.C. **The nature and properties of soil**. 10 ed. New York: Macmillan, 1992, p. 179-200.

BRASIL. Decreto n° 2954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da lei n° 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas jurídicas (Texto Integral)** - DEC 004954, Brasília, v.4, p.143-151, 1969

BRASIL. Decreto nº4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da Lei 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 15 jan. 2004.

CAMARGO, E. R. et al. Influência da aplicação de nitrogênio e fungicida no estágio de emorrachamento sobre o desempenho agrônomico do arroz irrigado. **Bragantia**, v. 67, p. 153-159, 2008.

CAMARGO, M. S; KORNDÖRFER, g. H.; FOLTRAN, D. E. Absorção de silício e incidência de broca-do--colmo em duas soqueiras de variedades de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 1304-1313, 2014.

CARVALHO, J. G. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de Escória de Siderurgia como fonte de silício**. 2000. 114f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CHÉRIF, M. et al. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum* Physiological and Molecular. **Plant Pathology**, London, v. 41, p. 411-425, 1992.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**, Brasília, v.5, p. 1-112, setembro, 2017. Disponível também em: <http://www.conab.gov.br>

Cruciol C.A., Silício na Agricultura. **Pesquisa Fapesp**, P 72-74, 2007.

CRUCIOL, C.A.C.; PULZ, A.L.; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P.; LIMA, G.P.P. Effects of silicone and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**. 49:949-954. 2009.

CRUZ, M. F. A. et al. Aspectos microscópicos da interação feijoeiro-*Colletotrichum lindemuthianum* mediados pelo silício. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 284-291, 2014.

CURVÊLO, C. R. S. et al. Mecanismos bioquímicos da defesa do algodoeiro à mancha de ramulária mediados pelo silício. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 41-51, 2013.

DATNOFF L.E. and KORNDÖRFER G.H.; **Silicon in Agriculture**. Studies in Plant Science. P 393, 2001.

DAYANANDAM, P.; KAUFMAN, P.B.; FRAKIN, C.I. Detection of silica in plants. *American Journal Botanical*, v. 70, p.1079-1084, 1983.

DEREN. C.W.; DATNOFF, L.E; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. (1994) Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grow on flooded organic histosols. **Crop science** 34: 733-737.

DJAMNI, A.; PATHAK, M. D. Role of silica in resistance to asiatic rice borer, *chilo suppressalis* (walker), in rice varieties. **Journal of Economic Entomology**, v. 60, p. 347-351, 1967.

DREES, L.R.; WILDING, L.P.; SMECK, N.E. & SENKAYI, A.L. **Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs**. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Mineral in soil environments. 2.ed. Wisconsin, Soil Science Society of American, 1989. p.913-974.

ELAWAD, S. H.; STREET, J. J.; GASCHO, G. J. Response of sugarcane to silicate source ad rate. I. growth and yield. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 481-484, 1982.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Informações técnicas sobre o arroz de terras altas: Estados de Mato Grosso e Rondônia**, safra 2007/2008. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2007. (Documentos, 212).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. **Dados conjunturais do arroz (área, produção e rendimento) Brasil 1986 a 2010**. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/index.htm>>.

EPSTEIN E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** P 641-664, 1999.

EPSTEIN, E.. Silicon in plants: facts vs concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Orgs). Silicon in agriculture. **The Netherlands: Elsevier Science**, 2001. 403 p

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

GARZON, T. et al. Aluminum-induced alteration of ion homeostasis in root tip vacuoles of two maize varieties differing in Al tolerance. **Plant Science**, New York, v. 180, n. 5, p. 709-715, 2011.

GOMES J.F. et al., **Disponibilidade do silício para a cultura do arroz em função de fontes, tempo de incubação e classes do solo**. Revista Agropecuária. V.41, P 531-538, 2011.

GONG, h. et al. Effects of silicon on growth of wheat under drowght. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 26, n. 5, p. 1055-1063, 2003

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito do silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (j. E. Smith) (Lepidoptera: noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, p. 305-310, 2002.

GUO, T. R. et al. Involvement of antioxidative defense system in rice growing seedlings exposed to aluminum toxicity and phosphorus deficiency. **Rice Science**, New York, v. 19, n. 3, p. 207-212, 2012.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ-IRGA. Epidemia de brusone do arroz no Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/6166/revista-lavoura-arrozera---n%EF%BF%BD-465>>.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plant and animals. **Advances in Agronomy**, v. 19, p. 107-149, 1967.

KAMIMURA, K. M.; ALVES, M. C.; ARF, O.; BINOTTI, F. F. S. Propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho sob Cultivo do Arroz de Terras Altas em Diferentes Manejos do Solo e Água. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.723-731, 2009.

KORDÖRFE G.H.; DATNOFF L.E. A adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana de açúcar e do arroz. **Informações agronômicas**. P 1-5, 1995.

KORNDÖRFER G. H.; PEREIRA, H. S., CAMARGO M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU. Grupo de pesquisa “Silício na agricultura”. Boletim técnico nº1. 3ª edição. 2004

KORNDÖRFER, G.H. **Importância do silício na agricultura**. Batata Show, v.3, n.8, dez. 2003. Disponível em:<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/revista08_005.htm>.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORREA, G.F. et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciênciado Solo**, Viçosa, v. 23:635-641, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; GASCHO, G.J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO,1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23, 1999, Pelotas. Anais...Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.313-316

LANNA, A. C. et al. **Panorama ambiental e fisio-molecular do arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 32 p.

LANNING, F.C.; PONNAIYA, B.W.X. & CRUMPTON, C.F. The chemical nature of silica in plants. *Plant Physiol.*, 33:339-343, 1958.

LARA F.M.,(1991) **Princípios de resistência de plantas a insetos**. 2º Ed. São Paulo SP. Ícone.

LEWIN, J. & REIMANN, B.E.F. Silicon and plant growth. *Ann.Rev. Plant Physiol.*, 20:289-304, 1969.

LIMA FILHO, O.F. de. O silício e a resistência das plantas ao ataque de fungos patogênicos. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005a. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2005/artigo.2005-09-26.3380213476>>.

LIMA FILHO, O.F.. O silício é um fortificante e antiestressante natural das plantas. **Campo e Negócios**, p.67-70, 2005b.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G. & TSAI, S.M. Supressão de patógenos em solos por agentes abióticos: o caso do silício. *Inf. Agron.*, 87:8-12, 1999a. (encarte técnico)

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G. de; TSAI, S.M. O silício na agricultura. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n.87, set. 1999B. Encarte técnico.

LOPES, M. S. Relações entre o pH e a absorção de fósforo e silício em solos. 1997. 45f. Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

M.MAUAD. et al., Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicada e nitrogenada. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 27, P 867-873, 2003.

MA J.F, MIYAKE Y, TAKAHASHI E, Silicon as a beneficial element for crop plants. **Elsevier Science**. P 17-39.2001

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistanc of plants biotic and abioti stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**. 50 :11-18.2004.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. Soil, Fertilizer, and Silicon Research in Japan. **Elsevier Science**. 2002.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science, Amsterdam**, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

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

MARCHEZAN, E. et al. Aplicação de silício em arroz irrigado: efeito nos componentes da produção. **Bioscience Journal**, v. 20, n. 3, p. 125-131, 2004.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. San Diego, Academic Press, 1995. 889p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 887p.1995.

MASSEY F. P., ROLAND ENNOS A., HARTLEY S.E., Herbivore specific induction of sílica-based plant defences. **Oecologia** 152:677-683. 2007.

MAUAD, M. et al. Deposição de sílica e teor de nitrogênio e silício em arroz. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1653-1662, 2013.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C.; Teores de silício no solo e na planta de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5P, setembro/outubro de 2003.

MENDONÇA, Gismália Marcelino. Manual de normalização para Apresentação de Trabalhos Acadêmicos. Salvador: Unifacs, 2009

MENDONÇA, R. J. et al. Efeito do alumínio na absorção e na utilização de macronutrientes em duas cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, DF, v. 38, n. 7, p. 843-846, 2003.

MENZIES, J. et al. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.117, p.902-905, Nov. 1992.

MITANI N. MA J. F. Uptake system os silicone in diferente plant species. **Journal of experimental Botany** 56:1255-1261. 2005

MUGNAINI, Rogério; STREHL, Letícia. Recuperação e Impacto da Produção Científica na Era Google: Uma Análise Comparativa Com o Google Acadêmico e a Web of Science. *Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, n. especial, 1º sem. 2008.

NERI, D.K.P.; MORAES, J.C.; GAVINO, M.A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.6, p.1167-1174, 2005.

NHAN, P. P.; HAI, N. T. Amelioration of aluminum toxicity on OM4900 rice seedlings by sodium silicate. **African Journal of Plant Science**, Ebène, v. 7, n. 6, p. 208-212, 2013

OLIVEIRA, S. et al. Aplicação de silício via solo no rendimento e na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 3029-3042, 2015

PACKER, Abel Laerte. et al. In *Ci. Inf.*, Brasília, v. 27, n. 2, p. 109-121, maio/ago. 1998. São Paulo, 1998.

PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; FRANZ, A. F. H.; SOUZA, R.O. **Manejo de solo e água em arroz irrigado**. In: PESKE, S.; NEDEL, J; BARROS, A. (Ed.). *Produção de sementes de arroz*. Pelotas : Ed.da UFPel, 1993.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 709-715, abr. 2001.

PEREIRA, D.P.; BANDEIRA, D.L.; QUINCOZES, E. da R.F. (Ed.). **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. 2005. Disponível em:
<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/>

PEREIRA, S. C.; RODRIGUES, F.A. ; CARREMISSIO, V.; et al.; Aplicação foliar de silício na resistência da soja à ferrugem e na atividade de enzimas de defesa. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 3, maio de 2009.

PRABHU, A. S; FILIPPI, M. C. C. **Brusone em arroz: controle genético, progresso e perspectivas**. 1. ed. Santo Antônio de Goiás, GO. Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 388p.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba. Ceres, **POTATOS**, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; CAMARGO O.A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v.32 p 223-236, 1973.

RAMOS, A. R. P. et al. Eficiência do silicato de potássio no controle do oídio e no desenvolvimento de abobrinha de moita. **Horticultura brasileira**, v. 31, n. 3, p. 432-438, 2013.

RAMOS, L. A.; KORNDORFER, G. H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 751-757, 2008.

REIS M.A. et al., **Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão**. Acta Scienc Agronomic. P 37-43, 2008.

REIS, J. J. D. et al. Atributos químicos do solo e produção da cana-de-açúcar em resposta ao silicato de Cálcio. **Revista de Ciências Agrárias**.v. 36, n. 1, p. 3-9, 2013.

RICHMOND, K. E.; SUSSMAN, M. Got Silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. **Current Opinion in Plant Biology**, 268-272. 2003

RYDER, M. et al. The use of root growth and modeling data to investigate amelioration of aluminum toxicity by silicon in Picea abiesseedlings. **Journal of Inorganic Biochemistry**, New York, v. 97, n. 1, p. 52-58, 2003.

SAVANT, N.K.; SNYDER, G.H. & DATNOFF, L.E. Silicon management and sustainable rice production. Adv. Agron., 58:151-199, 1997.

SCHURT, D. A. et al. Análise microscópica da resistência do arroz à queima das bainhas mediada pelo silício. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 93-101, 2015.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. **Characterization of the least limiting Water range of soils**. Soil Science SocietyofAmericaJournal, v.58,1994.

SILVA, M. F. **Avaliação de fontes de silício através de test de incubação e biológico**, Monografia, Universidade Federal de Uberlândia.1993

SILVA, M. L. S. et al. Influência do silício na produção e na qualidade de frutos do morangueiro. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3411-3424, 2013.

SILVA, M.F. **Plant,mineral nutrition:Yearbook of Science and technology**. McGraw-Hill Book. 1973.

SINGH, V. P. et al. Influence of exogenous silicon addition on aluminum tolerance in rice seedlings. **Biological Trace Element Research**, Totowa, v. 144, n. 1, p. 1260-1274, 2011.

STEINMETZ S.; BRAGA, J.H.; SILVA, C. S. (Ed.). **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. 2005. Disponível em:
<<http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/arroz/cap02.html>>.

STORCK, C.R. **Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos**. 2004. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria.

SUN, P. et al. Aluminum-induced inhibition of root elongation in Arabidopsis is mediated by ethylene and auxin. **Journal of Experimental Botany, Oxford**, v. 61, n. 2, p. 346-56, 2010.

SUZUKI, L.E.A.S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria -RS, 2005.

TISDALE, S.L.; NELSON, W. L.; BESRTON, J.D.; HAUSLIN, J.L. **Soil Fertility and Fertilizer**. New York: Macmillan, 634p. 1993.

TOKURA, A. M. et al. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **ActaScientiarumAgronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2007.

USDA/FAS. Grain: world markets and trade. 2017. Disponível em:<[HTTPS://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf](https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf)>.

VENDRAMIM J.D., F~RANÇA S.C. Indução de resistência a insetos. In Cavalcante L.S., Piero R. M., Cia P., (Eds.). Indução de resistência em plantas aa patógenos e insetos. Piracicaba SP. FEALQ. P. 511-528. 2006.

VIDAL, A, A.; FURLANETO, F. P. B. ; OKAMOTO, F, ; et al.; Efeito do silício na cultura de alface. **Pesquisa&Tecnologia**, vol. 8, n. 17, julho de 2011.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.38, n.4, p.1184-1192, jul, 2008

WORDELL FILHO, J. A.; DUARTE, H. S. S.;RODRIGUES, F. A. Efeito da aplicação foliar de silicato de potássio e de fungicida na severidade da ferrugem da folha e da mancha amarela do trigo. **Revista Ceres**, v. 60, p. 726-730, 2013.

YAMAUCHI, M. & WINSLOW, M.D. Effect of silica and magnesium on yield of upland rice in the humid tropics. **Plant Soil**, 113:265-269, 1989.

YOSHIDA, S., OHNISHI, Y., KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science Plant Nutrition** 8:15-21.1962.

YOSHIDA, S., OHNISHI, Y., KITAGISHI, K. Role of silicon in rice nutrition. **Soil plant Food** 5:127-33. 1959.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A.; ZANÃO JUNIOR, L. A. (ed). **Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas**.1 ed. Viçosa, MG, 2012. 321p.