

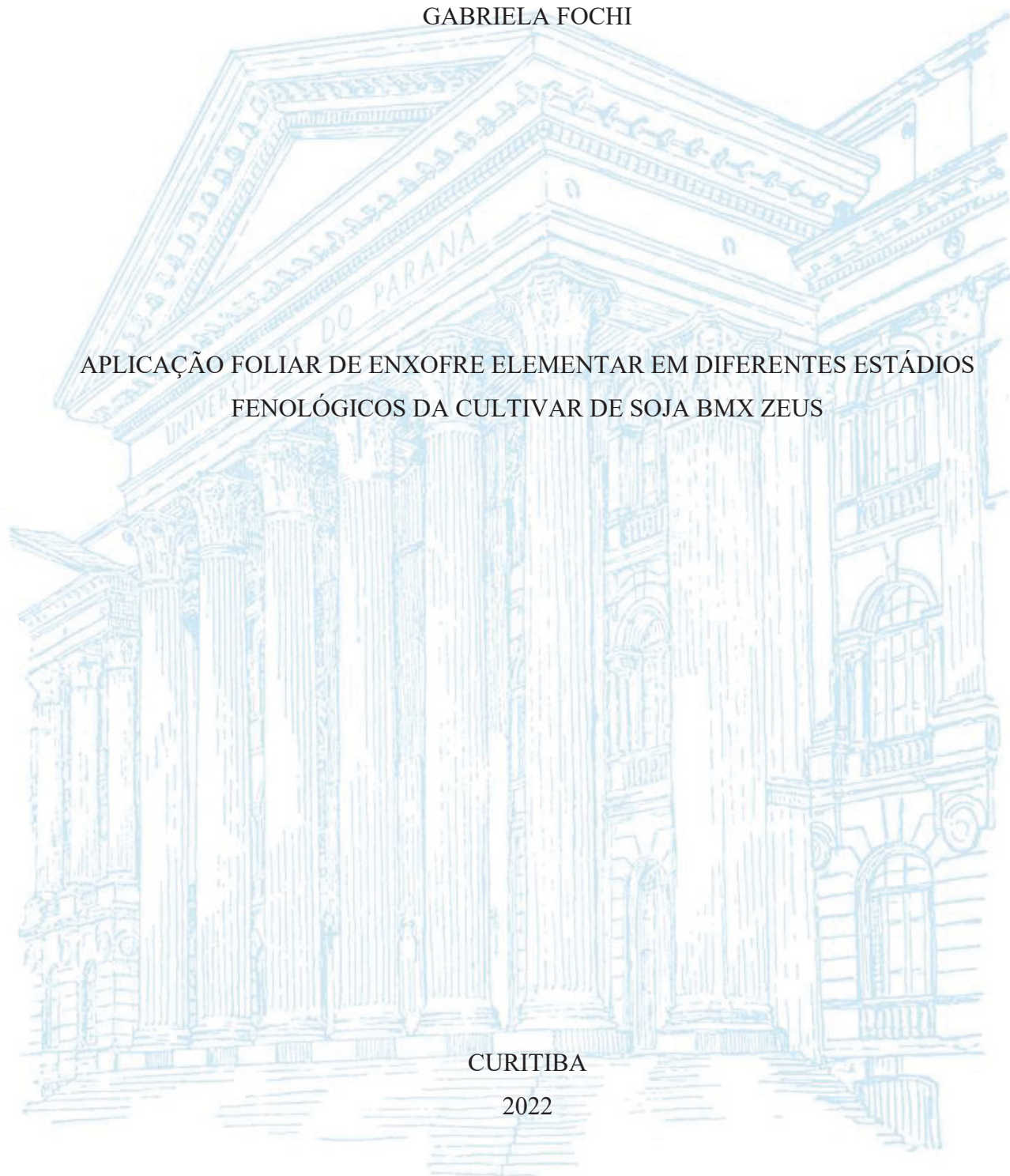
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA FOCHI

APLICAÇÃO FOLIAR DE ENXOFRE ELEMENTAR EM DIFERENTES ESTÁDIOS
FENOLÓGICOS DA CULTIVAR DE SOJA BMX ZEUS

CURITIBA

2022



GABRIELA FOCHI

APLICAÇÃO FOLIAR DE ENXOFRE ELEMENTAR EM DIFERENTES ESTÁDIOS
FENOLÓGICOS DA CULTIVAR DE SOJA BMX ZEUS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Bruno Portela Brasileiro

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA

Fochi, Gabriela

Aplicação foliar de enxofre elementar em diferentes estádios
fenológicos da cultivar de soja BMX Zeus. / Gabriela Fochi. –
Curitiba, 2022.

1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação
Agronomia (Produção Vegetal).

Orientador: Prof. Bruno Portela Brasileiro.

1. Soja. 2. Soja - Cultivo. 3. Enxofre. I. Brasileiro, Bruno
Portela. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-
Graduação Agronomia (Produção Vegetal). III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **GABRIELA FOCHI** intitulada: **APLICAÇÃO FOLIAR DE ENXOFRE ELEMENTAR EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DA CULTIVAR DE SOJA BMX ZEUS**, sob orientação do Prof. Dr. BRUNO PORTELA BRASILEIRO, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 17 de Novembro de 2022.

Assinatura Eletrônica

21/11/2022 07:22:06.0

BRUNO PORTELA BRASILEIRO

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

21/11/2022 17:15:46.0

EDUARDO PACCA LUNA MATTAR

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE)

Assinatura Eletrônica

21/11/2022 07:49:50.0

JOÃO CARLOS BESPALHOK FILHO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5601 - E-mail: pgapv@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.
Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 237323

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 237323

Dedico esta dissertação à todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter iluminado meu caminho e sempre me dar forças para seguir adiante.

A minha família e amigos que sempre estiveram ao meu lado e acreditaram em mim.

A minha colega do mestrado Bruna Dal' Pizol Novello pela amizade, apoio e confiança durante esta caminhada.

A todos os servidores da UFPR em especial aos do Setor da Ciências Agrárias. Aos professores pela paciência, dedicação e ensinamentos em sala de aula, em especial ao meu orientador Bruno Portela Brasileiro.

As empresas Bocchi AgroBios e OroAgri pela parceria.

A todos que acreditaram e acompanharam a realização deste sonho.

A todos vocês, meu muito obrigado!

“Eu tentei 99 vezes e falhei, e na centésima tentativa eu consegui, nunca desista dos seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.”

(Albert Einstein)

RESUMO

A crescente produtividade dos cultivos agrícolas, especialmente da soja (*Glycine max*), vem exigindo maior extração e exportação de nutrientes. A aplicação foliar de enxofre (S) pode ser uma eficiente forma de complementar o suprimento da necessidade da planta ao nutriente, devido às dificuldades em elevar os níveis de enxofre disponível no solo. O enxofre é um dos nutrientes essenciais exigidos em maior quantidade na cultura, sendo essencial para a formação de proteínas e aminoácidos, além de sua importância no processo de fotossíntese. Para atender esta demanda é possível realizar a aplicação foliar de enxofre elementar, através de fertilizantes líquidos. Para que esta operação seja efetiva deve-se conhecer o momento correto de realizá-la, observando o estágio da soja e o tempo necessário para assimilação do nutriente para que o mesmo cumpra seu papel na composição da produção do cultivo. Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação foliar de enxofre na cultura da soja via fertilizante líquido em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura. O trabalho foi desenvolvido no município de Charrua-RS, em duas safras, sendo Safra 1 - 2019/2020 e Safra 2 - 2020/2021, utilizando-se a cultivar Zeus. Foi realizada a aplicação de enxofre elementar 45%, na dose de 1,5 L/ha de produto comercial, totalizando 675 g/ha de enxofre em três estágios de desenvolvimento da soja (V4, R3 e R5) e mantido uma testemunha sem aplicação. O delineamento adotado foi o de blocos ao acaso com cinco repetições. Foram avaliadas as seguintes variáveis: número de vagens por planta (VP), número de grãos por vagem (GV), número de grãos por planta (GP) e massa dos grãos (PMG). Os dados foram submetidos à análise de variância seguido do teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade. De acordo com a análise de variância, houve interação significativa ($p < 0,05$) entre o estágio de aplicação de enxofre e safra para as variáveis grãos por vagem (GV) e peso de mil grãos (PMG). Para GV e PMG houve diferença significativa entre os estágios de aplicação nas duas safras e para grãos por planta (GP) e vagens por planta (VP), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os estágios de aplicação e entre as safras. Conclui-se que a aplicação foliar de enxofre elementar tem resposta positiva para a cultivar de soja BMX Zeus na região de Charrua- RS, sendo o estágio reprodutivo R3 (canivete) como o melhor momento de aplicação desse elemento, pois proporcionou aumento no número de vagens por planta, grãos por vagem, vagens por planta e no peso de mil grãos.

Palavras-Chave: *Glycine max*, nutrientes essenciais e grãos.

ABSTRACT

The increasing productivity of agricultural crops, especially soybean (*Glycine max*), has been demanding greater extraction and export of nutrients. Foliar application of sulfur (S) can be an efficient way to supplement the plant's need for the nutrient, due to the difficulties in raising the levels of available sulfur in the soil. Sulfur is one of the essential nutrients required in greater amounts in culture, being essential for the formation of proteins and amino acids, in addition to its importance in the process of photosynthesis. To meet this demand, it is possible to carry out the foliar application of elemental sulfur, through fluid fertilizers. For this operation to be effective, it is necessary to know the correct moment to perform it, observing the soybean stage and the time necessary for the nutrient assimilation so that it fulfills its role in the composition of the crop production. Therefore, the present study aimed to evaluate the effect of foliar application of sulfur on soybeans via fluid fertilizer at different stages of crop development. The work was carried out in the municipality of Charrua-RS, in two harvests, being Safra 1 - 2019/2020 and Safra 2 - 2020/2021, using the cultivar Zeus. Elemental sulfur 45% was applied at a dose of 1.5 L/ha of commercial product, totaling 675 g/ha of sulfur in three soybean development stages (V4, R3 and R5) and a control without application was maintained. The design adopted was randomized blocks with five replications. The following variables were evaluated: number of pods per plant, number of grains per pod, number of grains per plant and weight of grains. Data were submitted to analysis of variance followed by Student-Newman-Keuls test at 5% probability. According to the analysis of variance, there was a significant interaction ($p < 0.05$) between the stage of sulfur application and harvest for the variables grains per pod (GV) and thousand grain weight (PMG). For GV and PMG there was a significant difference between the application stages in the two crops and for grains per plant (GP) and pods per plant (VP), there was a significant difference ($p < 0.05$) between the application stages and between the crops. It is concluded that the foliar application of elemental sulfur has a positive response for the soybean cultivar BMX Zeus in the region of Charrua-RS, with the reproductive stage R3 (knife) as the best moment of application of this element, as it provided an increase in the number of pods per plant, grains per pod, pods per plant and in the weight of a thousand grains.

Keywords: *Glycine max*, essential nutrients, grains.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação dos diferentes estádios fenológicos da soja. Fonte: Elevagro (2017).	15
Figura 2. Esquema representativo do ciclo simplificado do enxofre (S) no solo. Fonte: Vitti et al. (2015).	18
Figura 3. Dados pluviométricos das safras 2019/2020, 2020/2021 e a média dos últimos 30 anos, na cidade de Erechim - RS, próxima ao local do experimento. Fonte: INMET (2022).	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos teores de Enxofre (S) no solo de acordo com dois extratores: acetato neutro de amônio e fosfato monocálcico.....	21
Tabela 2. Resumo da análise de variância contendo as variâncias (Quadrado Médio) para grãos por planta (GP, un), vagens por planta (VP, un) grãos por vagem (GV, un) peso de mil grãos (PMG, g).....	26
Tabela 3. Médias de grãos por planta (GP, un), vagens por planta (VP, un) grãos por vagem (GV, un) e peso de mil grãos (PMG, g) nos diferentes estádios de desenvolvimento e safras.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS

AA – Aminoácidos
ANOVA – Análise de variância
°C – Graus Celsius
CASO₄ – Sulfato de Cálcio
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
CS₂ – Dissulfeto de carbono
CV – Coeficiente de variação
EE – Espaçamento entre linhas
GP – Grãos por planta
GV – Grãos por vagem
K₂SO₄ – Sulfato de Potássio
MO – Matéria orgânica
Na₂SO₄ – Sulfato de sódio
NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio
PMG – Peso de mil grãos
R3 – Estádio Reprodutivo (Início da formação de vagens)
R5 – Estádio Reprodutivo (Início do Enchimento de grãos)
S – Enxofre
SO₄⁻² – Anión de sulfato
USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
V4 – Estádio Vegetativo (Quarto nó, terceiro trifólio totalmente desdobrados).
VP – Vagens por planta
ZARC – Zoneamento agrícola de Risco Climático

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 A cultura da soja	13
2.2 Enxofre	16
2.3 Enxofre no solo.....	18
2.4 Enxofre na planta.....	22
2.5 Enxofre na soja	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5 CONCLUSÃO.....	29
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) é uma das culturas mais produzidas no mundo, sendo considerada de grande importância para a economia mundial, estando entre as principais *comodities* agrícolas. Essa leguminosa é amplamente utilizada, tanto para alimentação humana, como para trato animal, sendo matéria prima de óleos, farelos e atualmente sendo utilizada para fabricação de biocombustível.

Com o avanço na produção da soja em âmbito mundial e com seu grande potencial de desenvolvimento no Brasil, é de suma importância estudar e compreender a demanda nutricional da cultura, pois a disponibilidade de nutrientes é essencial para o pleno desenvolvimento de qualquer cultura.

A escassez ou deficiência de qualquer nutriente pode interferir diretamente no rendimento de grãos e na suscetibilidade das plantas às doenças, acarretando problemas de crescimento e desenvolvimento e consequentemente, perdas de produtividade.

Atualmente, depois de muitas pesquisas e avanços em relação ao manejo adequado, sabe-se que a cultura da soja necessita além dos nutrientes orgânicos (carbono, hidrogênio e oxigênio), nutrientes minerais (fósforo, potássio, enxofre, entre outros), entre eles macro e micronutrientes.

O enxofre é um macronutriente essencial para as plantas, que normalmente é somente aplicado ao solo, juntamente com alguns fertilizantes minerais, porém, em quantidades insuficientes. O aumento no rendimento de grãos, exige maior extração e exportação de nutrientes, portanto, aliada a dificuldade de elevar os níveis de enxofre disponível no solo às plantas, atenta-se para a possibilidade de que a aplicação foliar de enxofre possa ser uma eficiente forma de complementar o suprimento à necessidade da planta ao nutriente.

Aplicações foliares de enxofre são utilizadas a muito tempo, tanto em sua forma elementar quanto através da calda sulfocálcica, não exclusivamente com fim nutricional, mas embasadas principalmente nas propriedades de fungicidas desalojantes de pragas, possuindo também ação sobre doenças como oídio e pragas como ácaros e cochonilhas, com um baixo custo.

Isso eleva a complexidade da indicação da aplicação do enxofre, devendo-se buscar discernir qual dos efeitos é desejado e a partir disso posicionar o produto de forma que atenda às necessidades do agricultor, compreendendo-se que quando aplicada para fins de controle de pragas ou doenças, pode não condizer com o momento correto de

aplicação para fins nutricionais, fazendo com que esse aporte capaz de suprir a demanda por enxofre da cultura.

A aplicação com fins de complementação nutricional é a que mais carece de estudos quanto ao correto momento a ser utilizada para que a mesma possa suprir as necessidades da planta, elevando a produtividade, pois seu efeito pode ser facilmente mascarado pela redução na incidência de pragas e doenças, devendo haver cuidado para que uma função não sobreponha à outra.

Portanto, o presente estudo visa avaliar a aplicação foliar de enxofre na cultura soja afim de comparar com plantas que não vão receber o tratamento (testemunhas), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da Soja

A soja é uma planta anual, herbácea, ereta, autógama, originária de clima temperado, que se adaptou bem aos climas subtropicais e tropicais (BORÉM et al., 2017). A estatura da planta pode ter variações, sendo de 0,3 a 2 metros, apresentando ciclo de 75 a 200 dias, sendo que a maioria das cultivares que são semeadas no Brasil tem ciclo de 90 a 150 dias (SEDIYAMA, 2009), classificadas em precoces, semiprecoces, médios, semitardios e tardios, podendo ser semeados em diversas épocas do ano, conforme as condições climáticas da região.

Essa cultura tem melhor adaptação em climas com temperaturas entre 20°C e 30°C e quando a temperatura do ar é menor ou igual a 10°C não ocorre funções metabólicas, tornando o crescimento vegetativo pequeno ou nulo, por outro lado, quando a temperatura é acima de 40°C tem-se efeito adverso. Outro fator de importância é o fotoperíodo que muda conforme a latitude, afetando as cultivares de maneiras diferentes, mas principalmente em relação à maturação do grão (EMBRAPA, 2014).

O Brasil por muitos anos foi o segundo maior produtor mundial de soja, sendo que em primeiro lugar era os Estados Unidos (USA). Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial do grão, somando 135,86 milhões de toneladas produzidos na safra 2020/21, em mais de 38 milhões de hectares, e com produtividade média de 3.528 kg ha¹. Essa produtividade é resultado da aplicação de um pacote tecnológico aliado a precipitações e temperaturas favoráveis (CONAB, 2021).

Alguns estados ganham destaque na produção nacional do grão, onde as maiores safras de soja ocorrem no estado do Mato Grosso com mais de 39,96 milhões de toneladas, em segundo lugar o estado do Paraná com mais de 12 milhões de toneladas, seguido pelo estado de Goiás apresentando mais de 16 milhões de toneladas (CONAB, 2022). O Rio Grande do Sul ocupa a segunda posição no ranking produtivo, com cerca de 9.727,7 milhões de toneladas colhidas, produzidas na safra 2021/22, em uma área plantada de 6.399,1 mil hectares e produtividade média de 1.530 kg/ha (CONAB, 2021).

A própria CONAB já havia estimado, foi um ano de safras recordes, na região sul do país (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) houve um incremento na área plantada de 2,4% em relação à safra 2019/2020, atingindo recordes regional de 12.375,3 mil hectares, com produção de 43.031,5 mil tonelada, representando incremento de 21,9% sobre a safra 2019/2020 (CONAB, 2021).

O crescimento desta commodity deve-se ao desenvolvimento de novas técnicas associadas as tecnologias empregadas no ciclo da soja, a qual apresenta diferentes hábitos de crescimento, que são fortemente influenciados pelas diferentes condições ambientais, portanto, é necessário o bom entendimento dessas peculiaridades (FREITAS, 2011).

O hábito determinado indica que a cultivar possui as inflorescências racemosas e terminais no mesmo período, ocorrendo a paralização do crescimento vegetativo após o início do florescimento. Quando se fala de hábito de crescimento semideterminado, ocorre que a planta tem o florescimento na mesma época, como no hábito determinado, no entanto, continuam seu crescimento vegetativo, aumentando em média 40% a sua estatura. As cultivares que possuem hábito de crescimento indeterminado, ocorre a inflorescência desde cedo e essa floração se estende até a planta atingir sua estatura final, não ocorrendo a floração na mesma época e não possuindo inflorescência terminal (NOGUEIRA et al., 2010).

O ciclo da soja passa por algumas fases fundamentais como germinação, emergência, crescimento, desenvolvimento vegetativo, florescimento, enchimento de grãos e maturação. A utilização de uma classificação dos estádios de desenvolvimento da soja permite um maior entendimento da cultura, eliminando assim a possibilidade de erros de manejo (FIGURA 1). Os estádios fenológicos da soja podem ser divididos em dois grandes grupos: o vegetativo, representado pela letra V e o reprodutivo, representado pela letra R. O estágio vegetativo vai até aparecer a primeira inflorescência, mas a campo cada estágio específico é definido somente quando mais de 50% da população atinge um determinado estágio (SEDIYAMA, 2009).

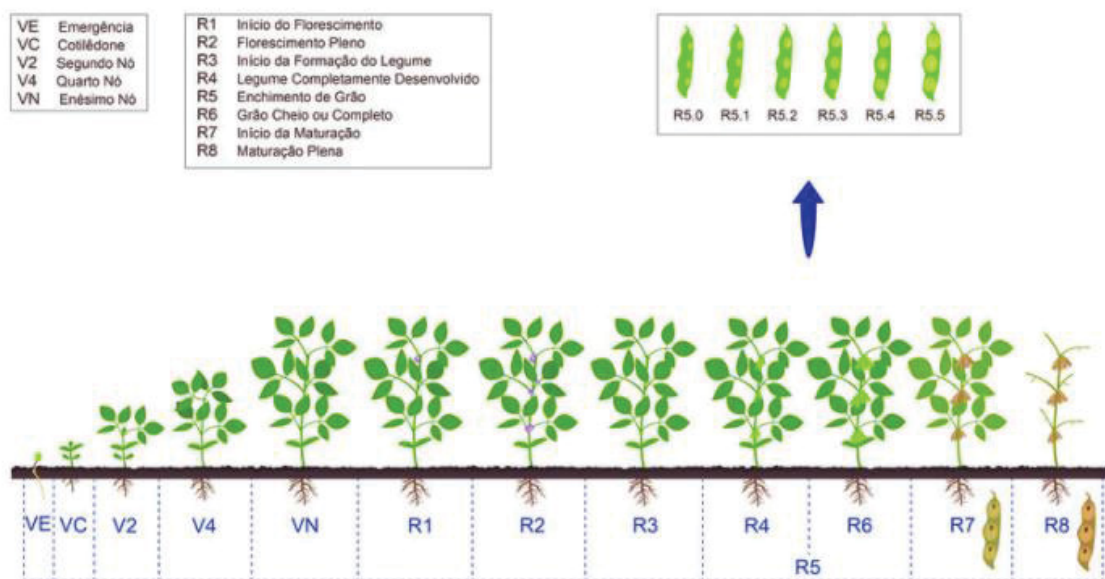


Figura 1. Representação dos diferentes estádios fenológicos da soja. Fonte: Elevagro (2017).

Os diferentes estádios estão estreitamente associados a variação da temperatura e do fotoperíodo pois este fator vai influenciar no ciclo da planta, seja ele precoce, semi-precoce, médio, semi-tardio ou tardio (SEDIYAMA et al., 2016). Dentro do estágio vegetativo encontra-se algumas divisões marcadas pela emergência dos cotilédones e a presença de nós. Ou seja, uma plântula recém emergida (VE), só é considerada emergida quando encontra-se com os cotilédones acima da superfície do solo. O estágio vegetativo conhecido por VC é marcado pela presença dos cotilédones completamente abertos e expandidos. A partir de VC tem-se subdivisões que são sequenciadas de acordo com o número de nós, acima do nó cotiledonar (FARIAS et al., 2007).

Os estádios reprodutivos são denominados do R1 até o R8 e descrevem detalhadamente o período de florescimento até a maturação dos grãos. Dentro dos estádios reprodutivos, é abordado quatro distintas fases do desenvolvimento da cultura da soja: florescimento (R1 e R2), desenvolvimento de vagem (R3 e R4), desenvolvimento dos grãos (R5 e R6) e a maturação da planta (R7 e R8) (FARIAS et al., 2007).

Há cinco grupos de maturidade que as plantas de soja são classificadas, sendo eles: precoce, semi-precoce, médio, semi-tardio e tardio. Geralmente o ciclo de desenvolvimento da soja varia entre 75 dias para as mais precoces a 200 dias para as tardias, de acordo com as condições climáticas e também com o genótipo. Dentre as cultivares comerciais que são mais utilizadas na agricultura brasileira apresentam o ciclo

entre 100 a 145 dias (BEZERRA et al., 2015).

Produtividades altas são atingidas quando fatores ambientais estão favoráveis durante todos esses períodos do desenvolvimento da soja. Para atingir metas produtivas, são levados em conta os componentes de rendimento de grãos da soja, que são: número de plantas por área, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e o peso de grãos. Dentre estes, o componente mais influenciado pelo ambiente é o número de vagens por planta (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

2.2 Enxofre

O enxofre em temperatura ambiente, apresenta características de formato sólido, de coloração amarela, é leve, quebradiço, sem cheiro e não solúvel em água, no entanto, solúvel em dissulfeto de carbono (CS_2), podendo ser encontrado em minerais que contêm sulfitos e sulfatos, localizando-o facilmente no formato de cristais amarelados. A temperatura de fusão do S é $115,2^{\circ}C$, e a de ebulição, $444,7^{\circ}C$, e sua densidade é $2,07 g/cm^3$ (FERREIRA, 2020).

É o décimo terceiro elemento mais abundante da crosta, com teor de 0,06% (Biassani & Tedesco, 1988). Os principais minerais que contêm este elemento em relação a rocha e solo, são: o gesso, a epsomita, a mirabilita e a pirita (TISDALE et al., 1993). Ao ocorrer o intemperismo destes materiais, através de processos físicos, químicos e biológicos, ocorre a liberação do enxofre para os microrganismos e plantas. Outras fontes do elemento para o solo são águas da chuva que podem agir como transportadores deste elemento, fertilizantes e também defensivos agrícolas (HOROWITZ et al., 2007).

Este nutriente é exigido pelo vegetal para formação principalmente de aminoácidos e proteínas, para realizar a fotossíntese e torna-se tolerante em casos de baixas temperaturas. Para o desenvolvimento radicular e nodulação é fundamental a sua presença (EPSTEIN et al., 2006; SULINO et al., 2021).

O ciclo do enxofre é segmentado em 6 etapas simples, etapa 1: as plantas podem absorver compostos englobando o enxofre, além dos sulfatos. Etapa 2: nas plantas, na produção de aminoácidos, o oxigênio pode ser substituído por hidrogênio para compor os sulfatos. Etapa 3: todo o enxofre absorvido através das plantas que o contem, se torna parte da própria estrutura. Etapa 4: os aminoácidos dos seres vivos, depois da senescência, são decompostos por microorganismos, e o enxofre presente se torna sulfeto de hidrogênio. Etapa 5: do sulfeto formado na reação anterior, é extraído enxofre, por

bactérias e microorganismos. Etapa 6: alguns microorganismos do solo podem ser responsáveis pela produção de sulfatos, através da combinação de enxofre com o oxigênio (LISBOA, 2015).

O enxofre é disponibilizado para as plantas e microorganismos principalmente pela ação do intemperismo, mas também pode ser disponibilizado através das precipitações pluviométricas e defensivos agrícolas. Já a extração deste elemento se deve às exportações através dos vegetais, pela lixiviação e/ou erosão ou pela emissão de gases (STIPP; CASARIN, 2010).

As ocorrências de deficiência de enxofre se devem principalmente a crescente produtividade, que exige maior exportação, bem como ao fato de que o enxofre está presente como complemento de fertilizantes de baixa concentração da formulação NPK, e com a tendência de adoção de fórmulas mais concentradas o aporte de enxofre tende a ser negligenciado, agravando-se em áreas com baixo percentual de matéria orgânica (VITTI et al., 2015).

Por ser um nutriente essencial para as plantas, a sua deficiência torna-se um fator limitante para a produção agrícola em diversas áreas do Brasil, devido as diversidades na composição dos solos, onde o cerrado brasileiro é a região mais deficiente deste nutriente, principalmente pelo fato da pequena quantidade de MO desses solos e o aumento da exportação de enxofre pelos grãos, pelas produtividades elevadas e lixiviação ao sulfato, resultado das excessivas aplicações de calcário e fósforo (RHEINHEIMER et al., 2005; VITTI et al., 2007).

As fontes mais comuns de enxofre da agricultura brasileira são o superfosfato simples (12% S-sulfato) e o sulfato de amônio (24% de S-sulfato). Como alternativa para estes entraves, utiliza-se o enxofre elementar, que contém mais de 90% de enxofre, incorporado a fertilizantes comerciais é uma opção que pode aumentar a concentração dos nutrientes nas formulações e reduzir os custos de produção, de transporte e de aplicação do fertilizante (HOROWITZ et al., 2007).

Ao aplicar no solo o enxofre elementar vai ser oxidado a S-Sulfato para que a planta consiga absorve-lo. Mas alguns fatores podem afetar essa absorção, causando oxidação do enxofre elementar, sendo eles: a presença de microorganismos específicos, pH, temperatura, a umidade do solo, a aeração e os teores de nutrientes e de matéria orgânica do solo (HOROWITZ et al., 2006).

2.3 Enxofre no solo

Presente no solo nas formas orgânicas e inorgânicas, o enxofre é um elemento químico encontrado em sua maioria (95%) na camada superficial do solo, compreendida como matéria orgânica e seu ciclo (Figura 2) pode ser comparado ao do nitrogênio (N), pois da mesma forma, a síntese é controlada por reações de oxidação e redução, realizadas pelos organismos existentes no solo (VITTI et al., 2015).

A proporção entre as formas orgânicas e inorgânicas varia conforme o tipo de solo e a sua profundidade. Em solos com horizontes mais superficiais, geralmente os tropicais, o enxofre orgânico compõe a maior parte do enxofre total. Com o aumento da profundidade este enxofre orgânico diminui, pois a matéria orgânica também decresce (HOROWITZ et al., 2006). Nos solos bem drenados e com boa oxigenação, a predominância da forma mais oxidada do enxofre, o sulfato, com característica de absorção pelas partículas de argila e/ou pelo complexo de organo-minerais (MALAVOLTA, 1978).

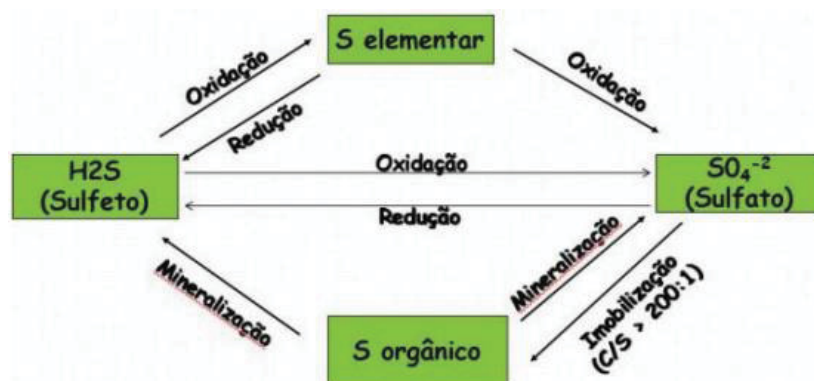


Figura 2. Esquema representativo do ciclo simplificado do enxofre (S) no solo. Fonte: Vitti et al. (2015).

A forma em que o enxofre é reduzido ou oxidado pode causar duas reações no solo, o primeiro é quando acontece a oxidação do sulfeto e do enxofre para a forma de sulfato, nesse processo ocorre a elevação do pH do solo e a segunda é quando o sulfato se reduz a sulfeto, causando a redução do pH do solo (VITTI et al., 2015). Além desse aumento ou redução do pH por parte das reações, pode ocorrer acidificação do solo por ação das bactérias do gênero *Thiobacillus*, no entanto é necessário que as condições ambientais estejam adequadas para tal evento, bem como, que ocorra o contato do enxofre com o solo (ZAMBOLIM et al., 2012). A reação de oxidação de S-elementar para forma

de sulfato ocorre em solos bem drenados e com boa disponibilidade de oxigênio, sendo as bactérias do gênero *Acidithiobacillus* os responsáveis por este processo (KELLY, WOOD, 2000).

A oxidação do enxofre elementar é realizada principalmente, pelos microrganismos presentes no solo, pois são afetados diretamente pela condução do manejo da lavoura e também, por características próprias do solo (temperatura, textura, aeração, pH e fertilidade). A estrutura física deste solo também é um fator determinante, pois afeta diretamente a área superficial específica da partícula que ficará disponível, portanto, forma, tamanho, composição, grau de dispersão e taxa de aplicação das partículas de enxofre devem ser levadas em conta. Quanto maior for a área superficial específica em associação com os microrganismos oxidantes, assim a taxa de oxidação será maior, ocorrendo a transformação do enxofre elementar em enxofre sulfatado (GERMIDA & JAZEN, 1993; HOROWITZ et al., 2007).

Sem a interferência do homem nos solos, as reservas de enxofre orgânico dependem basicamente dos teores e tipos de argilominerais e óxidos, ambos protegem a matéria orgânica ao ataque microbiano e também, das condições ambientais que aceleram ou retardam a atividade biológica. O enxofre orgânico disponível às plantas depende da sua transformação a formas inorgânicas, quase que exclusivamente na forma de sulfato (SO_4^{-2}) que é retido pelos grupos funcionais dos colóides inorgânicos do solo, por isso as técnicas de manejo cultural do início ao fim do plantio tornam-se importante (RHEINHEIMER et al., 2005).

Mais da metade do enxofre encontrado no solo é fornecido pela matéria orgânica presente no solo. Nas camadas superiores o enxofre no solo fica disponível para as plantas na forma do anion de sulfato (SO_4^{-2}) que devido sua carga negativa não é atraído pelas argilas, assim permanece na solução tendo grandes chances de acontecer a lixiviação do mesmo. Em regiões mais profundas do solo, onde dominam cargas positivas o enxofre apresenta menor lixiviação, porém apenas culturas com maior sistema radicular conseguem absorver o mesmo, o que não é o caso da soja (SFREDO; LANTMANN, 2007).

Em áreas onde o solo é mais seco, as formas que predominam de S são: o sulfato de cálcio (CaSO_4), o sulfato de potássio (K_2SO_4) e o sulfato de sódio (Na_2SO_4). Em contrapartida, em locais onde o solo é mais úmido, o S pode ser encontrado junto com a matéria orgânica (MO), liberando gradativamente o mesmo pra a solução do solo, pelo evento da mineralização da MO (SFREDO, 2008). Como o enxofre é encontrado no solo

na maioria dos casos na forma orgânica, a capacidade do solo em suprir a demanda das plantas por esse nutriente está diretamente relacionada ao seu teor de MO (TIECHER et al., 2012).

No Brasil, a quantidade de enxofre visualizada no perfil de solo, ponto de alocação das raízes, é muito baixa e essa é uma característica de solos de países tropicais (SFREDO; LANTMANN, 2007). Outros fatores que colaboram para o baixo teor de enxofre no solo, é o uso de cultivares com maior capacidade produtiva, que causam a extração desse nutriente para completar o seu ciclo. Além disso, o uso de fertilizantes concentrados, contendo pouco ou nada de enxofre e ainda a mobilização do elemento na serapilheira, ambiente com teor de matéria orgânica elevado, em decorrência das práticas conservacionistas como plantio direto, contribuem para o baixo teor deste elemento (SFREDO; LANTMANN, 2007).

Quando ocorre a aplicação do enxofre elementar no solo, ocorre o processo de oxidação, reações catalisadas por microrganismos e só após consegue ser absorvido pelas plantas (VITTI et al., 2007). Essa atividade realizada pelos microrganismos depende de fatores bióticos e abióticos, mas principalmente do pH e textura do solo, disponibilidade de outros nutrientes e temperatura (HOROWITZ et al., 2006).

A temperatura ideal, para que ocorra a oxidação do enxofre, fica entre 10 e 40 °C, quando ela fica abaixo ou acima dessa temperatura, ocorre a paralisação da oxidação e em relação a umidade, observa-se que o ponto ótimo é quando o solo se encontra em capacidade de campo, no entanto a aeração deve ser boa, ou seja se a umidade do solo for muito baixa ou há pouca aeração do solo, a capacidade de oxidação do enxofre é inibida (LUCHETA, 2010).

O enxofre é um elemento muito móvel no solo e devido a essa mobilidade é recomendado realizar a amostra de solo de 20 a 40 centímetros, para que o diagnostico seja mais real possível e assim alcançar os níveis desejados com a adubação, principalmente quando os níveis de enxofre forem críticos (Tabela 1) (VITTI et al, 2015).

Tabela 1. Classificação dos teores de Enxofre (S) no solo de acordo com dois extratores: acetato neutro de amônio e fosfato monocalcico.

Classes	S (mg dm ⁻³)	
	NH ₄ OAc.HOAc.	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ - 500 ppm P
Muito Baixo	0,0 - 5,0	0,0 – 2,5
Baixo	5,1 – 10,0	2,6 – 5,0
Médio	10,1 – 15,0*	5,1 – 10,0*
Adequado	>15,0	>10,0

Fonte: VITTI et al. (2015).

No Rio Grande do Sul, estado em que pode ser visualizado grande variabilidade dos solos, inclusive nos materiais de origem até nos solos formados, dos teores e tipos de argila e nos óxidos e matéria orgânica presentes no solo, mostra que há grandes chances de respostas positivas quando realizar aplicação de enxofre no solo. Práticas de manejo do solo influenciam na oxidação do enxofre elementar, pois atuam nas características físicas e químicas do solo e também, posteriormente podem afetar as propriedades dos fertilizantes adicionados (ALVAREZ, 2004).

A rotação de culturas e práticas de mobilizações do solo, além de manejo de resíduos afetam a oxidação do S elementar, pois mexem diretamente com a temperatura do solo, aeração, textura, pH do solo, matéria orgânica e nutrientes e assim, é possível que a oxidação possa ser influenciada pela interação e integração destes fatores e não apenas por um isolado (GERMIDA & JAZEN, 1993; HOROWITZ et al., 2007).

Em pesquisa realizada em solos no estado do Rio Grande do Sul, avaliando os teores de enxofre extraível no solo das áreas de agricultura de precisão, observando mais de 72 mil amostras de solo, obtidas em profundidade de 0 a 15 centímetros, percebeu-se que mais de 65% das amostras continham teores de enxofre extraível próximos a 10 mg/dm³, indicando a necessidade da aplicação do enxofre (SILVA et al., 2013).

2.4 Enxofre na planta

As plantas necessitam de enxofre devido sua função estrutural, pela composição de alguns aminoácidos (AA), pois possuem radicais em sua estrutura química de quatro aminoácidos, são eles: cisteína, cistina, metionina e taurina. Estes aminoácidos se fazem

presentes em compostos essenciais e participam também, de enzimas que são sintetizadoras de substâncias para a planta (NASSER et al., 2021).

Outra importância do enxofre na planta é na constituição da ferredoxina, este elemento torna-se essencial para que aconteça a oxirredução no processo da fotossíntese bem como na redução de SO_4^{-2} e NO_3^- e na fixação biológica de nitrogênio (VITTI et al., 2006; SFREDO, 2008).

O enxofre está presente em todas as proteínas vegetais e por isso as leguminosas tem maior exigência deste nutriente comparado com as gramíneas (SFREDO; LANTMANN, 2007). Pode estar na forma orgânica e/ou inorgânica como sulfato, atuando como reserva. O enxofre na forma inorgânica destaca-se por três importantes funções: é a principal forma móvel encontrada na planta; quando a absorção radicular encontra-se deficiente é a principal fonte de enxofre; afeta a qualidade de odor e gosto dos produtos agrícolas, principalmente na cebola, alho e também em algumas plantas forrageiras (DOMINGOS, et al., 2015).

Absorvido pelas folhas tanto na forma oxidada quanto reduzida, independentemente da dose ou da natureza da fonte, e posteriormente transportado nas direções acrópeta e basípeta, e redistribuído, na maior proporção para as folhas superiores. Esse fornecimento pode chegar a dobrar o teor de S nas folhas (SILVA et al., 2003; VITTI et al., 2007).

O enxofre acumula-se consideravelmente nas folhas a partir dos 21 dias após a emergência, e atinge seu máximo volume acumulado entre os 80 e 90 dias, dos quais um terço do S acumula-se nos grãos e dois terços nas folhas e caules, sendo necessários cerca de 15 kg de enxofre para cada tonelada de grão produzido (ARAUJO, 2018).

Nas plantas, a deficiência de enxofre pode ser observada pela clorose de folhas jovens, seguida pela ocorrência de hastes mais curtas e crescimento reduzido, devida a menor síntese proteica, este efeito é percebido inicialmente nas folhas mais jovens da planta, visto que o enxofre é um elemento praticamente imóvel na planta (VITTI et al., 2015).

A restrição de enxofre nas plantas inibe a síntese de aminoácidos importantes (cisteína e metionina) e a falta destes AA podem acarretar em menor teor de clorofila e menor sistema radicular. O aproveitamento do N pela planta também é afetado no caso de deficiência, pois o enxofre está relacionado com a atividade da nitrato redutase, com isso há baixa redução de N-NO^3 (RAIJ, 2011).

A deficiência de enxofre nas plantas pode acarretar na falta de N_2 , necessário para

a fixação biológica do nitrogênio para as plantas que realizam simbiose com bactérias fixadoras, como a soja. Em média, o teor de enxofre no tecido das plantas é de 0,1% à 1,5%, onde as plantas pertencentes à família botânica *Cruciferae* e *Liliaceae* são as mais exigentes neste nutriente (TAIZ; ZEIGER, 2004).

2.5 Enxofre na soja

Entre as culturas que mais exigem enxofre encontra-se a soja, bem como todas as demais leguminosas, necessitando mais do S do que as gramíneas, pois o acúmulo de enxofre nos grãos está ligado diretamente com a composição das proteínas. Devido, principalmente, a extração de enxofre pelos grãos, a soja responde bem a aplicações de enxofre, com destaque para áreas onde há baixo teor de matéria orgânica, baixa fertilidade e em solos de cerrado, principalmente devido a lixiviação do nutriente (BROCH et al, 2011).

Por auxiliar na respiração metabólica de peptídeos, o enxofre está presente em todas as proteínas e nas enzimas. Além disso, auxilia na formação de óleos e compostos voláteis. O processo de nodulação das leguminosas, que auxiliam na fixação de nitrogênio e na redução do nitrato, também é fortemente influenciada por este elemento, principalmente na soja (DOMINGOS et al., 2015).

Na cultura da soja o macronutriente enxofre é necessário nas mesmas quantidades que o fósforo e o magnésio, aproximadamente 15 Kg de S para cada 1000 Kg/grão produzidos. A aplicação de enxofre em quantidades entre 20 e 70 Kg/ha, pode gerar aumento de 500 kg ha, sendo que a cultura da soja é uma das que mais exportam enxofre, em média 77,3 mil t/ano na agricultura brasileira (VITTI et al., 2015).

A falta de enxofre na cultura da soja, acarreta uma planta com estatura menor, um menor número de folhas, redução do diâmetro de caule e do sistema radicular, diminuindo o rendimento de grãos (PRADO et al., 2010).

Ao conduzirem estudos com aplicação foliar de enxofre elementar, Vitti et al (2007), conduziram a aplicação nos estádios V4 e R1, e perceberam que houve acréscimos nos teores de S e N nas folhas, independentemente da dose e da natureza química da fonte do nutriente, além disso, concluem que a aplicação foliar de enxofre elementar apresenta eficiência superior à aplicação feita ao solo.

Um estudo realizado por Rezende et al. (2009) aponta que a aplicação foliar de enxofre no estágio R3, com produtos à base de enxofre elementar e concentrações 600 a

1.200 g/ha, representaram elevações na faixa de 30% em produtividade, além de apresentar relação positiva com o acúmulo de N, P e Ca na planta.

De acordo com Esper Neto et al. (2018) não existe relação da aplicação de enxofre elementar via foliar com o acúmulo de nutrientes nos grãos de soja, sendo a variação dos mesmos estatisticamente não significativa, entretanto, proporciona a elevação na produtividade, com destaque para as aplicações de 500 g/ha nos estádios R1 e R5, com resultado superior a aplicação de concentrações maiores, a exemplo de 1 kg/ha, e sem afetar a massa dos grãos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido no município de Charrua, localizado no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, sob coordenadas 27°57'08'' S e 52° 00' 54'' O, com altitude média de 665 m em relação ao nível do mar. O clima no local é classificado como subtropical úmido Cfa, e tem as duas estações bem definidas, verões com temperaturas elevadas e invernos com frio intenso (Alvares et al., 2013). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico classe 4, com 69% de argila. Os dados meteorológicos estão detalhados na Figura 1.

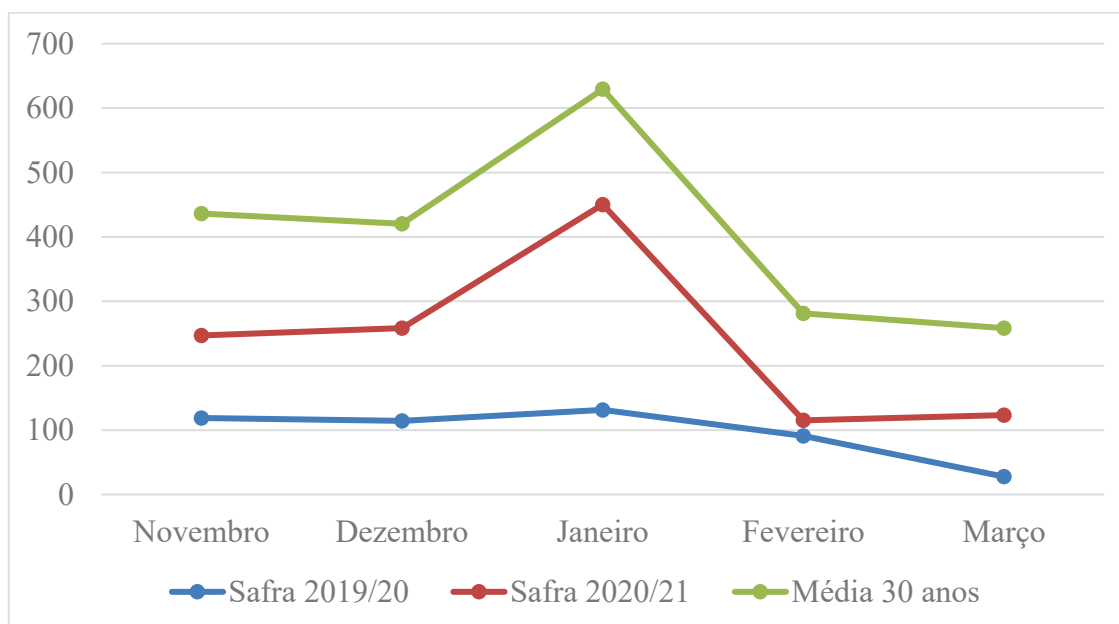


Figura 3. Dados pluviométricos das safras 2019/2020, 2020/2021 e a média dos últimos 30 anos, na cidade de Erechim - RS, próxima ao local do experimento. Fonte: INMET (2022).

O experimento foi realizado em duas safras, a campo, nas safras 2019/2020 e 2020/2021. A cultivar utilizada foi a BMX Zeus (55i57 RSF), pertencente ao grupo 1 do

Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) e grupo de maturação 5.5, apresenta resistência ao acamamento. É recomendada para os três Estados do Sul: Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. A semeadura ocorreu na primeira quinzena do mês de novembro de cada safra.

O enxofre foi utilizado via foliar, na quantidade de 1,5 L/ha, correspondendo a 675 g/ha de enxofre, através do produto Oro-Solve ®. Esse produto possui enxofre elementar nanoparticulado e é enriquecido com óleo de casca de laranja.

Foi realizada a aplicação foliar de enxofre elementar (45%) em diferentes estádios fenológicos da soja, sendo eles: Test - Testemunha (sem aplicação); V4 - aplicação de S no estágio V4; R3 - aplicação de S em R3 e R5 - aplicação de S em R5.

Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso contendo 4 tratamentos (época de aplicação). Cada tratamento foi representado por 5 repetições, totalizando 20 parcelas por safra. As parcelas foram constituídas de 10 m², em cada parcela continham 11 linhas de 2 m de comprimento com espaçamento de 50 cm entre linhas, e 5 plantas por metro linear. As duas linhas externas e as duas plantas externas de cada lado da parcela constituíram as bordaduras das parcelas. A parcela útil foi constituída de 60 plantas amostradas da parte central das unidades experimentais.

O manejo fitossanitário foi realizado de forma a minimizar a ocorrência de pragas e doenças. De forma a otimizar a estimativa dos efeitos da aplicação do enxofre nos diferentes estádios do desenvolvimento da soja. Para fins de comprovação do mesmo foram realizados levantamentos de danos de pragas e incidência e severidade de doenças e os mesmos comparados entre os tratamentos.

Para avaliação do efeito da aplicação foliar do enxofre em diferentes estádios fenológicos da soja foram avaliados o número de vagens por planta (VP), o número de grãos por vagem (GV), o número de grãos por planta (GP) e a massa dos grãos (PMG).

A avaliação do número de vagens por planta, o número de grãos por planta e o número de grãos por vagem foi realizada contando todas as vagens e todas os grãos de 60 plantas por parcela, totalizando 2.400 plantas de soja. Foi realizado o peso de mil grãos (PMG) de acordo com as Regras de análise de sementes – RAS (BRASIL, 2009).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de homogeneidade de variância e normalidade dos resíduos e em seguida procedeu-se a análise de variância conjunta e o teste de Student-Newman-Keuls (S-N-K) a 5% de significância para comparação das médias dos tratamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cultura não apresentou incidência de ataque de pragas, doenças e plantas daninhas que pudessem interferir no desenvolvimento da cultura e nos resultados quanto a aplicação do enxofre.

Os dados de todas as variáveis apresentaram resíduos com distribuição normal de acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância e variâncias homocedásticas de acordo com o teste de Bartlett a 5% de significância.

De acordo com a análise de variância, houve interação significativa ($p < 0,05$) entre o estágio de aplicação de enxofre e safra para as variáveis grãos por vagem (GV) e peso de mil grãos (PMG) (Tabela 2). Nesses casos, foi realizado o teste de médias para cada safra. Para as demais variáveis o teste F foi aplicado a partir do resíduo combinado, obtido a partir da soma dos graus de liberdade e das somas de quadrado da interação safra x estágio e do resíduo da análise conjunta. Para GV e PMG houve diferença significativa entre os estádios de aplicação nas duas safras (Tabela 2). Para grãos por planta (GP) e vagens por planta (VP), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os estádios de aplicação e entre as safras (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância contendo as variâncias (Quadrado Médio) para grãos por planta (GP, un), vagens por planta (VP, un) grãos por vagem (GV, un) peso de mil grãos (PMG, g).

FV	GL	GP	VP	GV	PMG
Bloco	9	138,16*	10,421 ^{ns}	0,00828*	22,73*
Estádio	3	1660,3*	124,233*	0,103803*	651,37*
Safra	1	360,6*	82,034*	0,000904 ^{ns}	536,49*
Estádio × Safra	3	60,74 ^{ns}	1,868 ^{ns}	0,007951*	20,12*
Resíduo	24	51,15	6,418	0,001811	3,67
CV%		6,31	4,74	1,91	1,15
Média Geral		114,47	51,26	2,22	166,59

^{ns}; * Respectivamente, não significativo e significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F de Snedecor.

Os coeficientes de variação experimental (CV%), podem ser considerados baixos para todas as variáveis mensuradas no experimento, indicando elevada precisão experimental (Tabela 2).

Tabela 3. Médias de grãos por planta (GP, un), vagens por planta (VP, un) grãos por vagem (GV, un) e peso de mil grãos (PMG, g) nos diferentes estádios de desenvolvimento e safras.

ESTÁDIO e SAFRA	GP	VP	GV		PMG	
			SAFRA 1	SAFRA 2	SAFRA 1	SAFRA 2
R3	129,35a	54,73a	2,32a	2,39a	170,68a	180,35a
R5	120,24b	53,30a	2,25b	2,24b	167,83a	173,70b
V4	108,06c	50,21b	2,18bc	2,11c	160,54b	164,58c
Testemunha	100,25d	46,79c	2,16c	2,13c	152,68c	162,39d
SAFRA 1	111,47b	49,83b	2,23a		162,93b	
SAFRA 2	117,47a	52,69a	2,22a		170,25 ^a	

*Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si de acordo com o teste de Student-Newman-Keuls (S-N-K) a 5% de significância.

Em relação ao número de grãos por vagem (GV), tanto na safra 1 (2019/2020) como na safra 2 (2020/2021) a aplicação em R3 foi superior aos demais estádios e a testemunha, apresentando média de 2,32 e 2,39 grãos por vagem nas safras 1 e 2, respectivamente, sendo que a aplicação em R5 foi superior a aplicação em V4 e a testemunha, essas, não diferindo estatisticamente entre si. Entre as safras 1 e 2, não houve diferença estatística entre as médias de GV (Tabela 3).

Para o PMG, a aplicação em R3 na safra 2 foi superior aos demais estádios e a testemunha, apresentando média de 180,35 peso de mil grãos, entretanto não houve diferença entre as aplicações em R3 e R5 na safra 1. A aplicação em R5 foi superior a aplicação em V4 e a testemunha nas duas safras. As médias das safras 1 e 2, diferiram estatisticamente, conforme pode ser observado na tabela 3.

De acordo com Fransceschi (2009), o uso de enxofre elementar, pode não ser uma boa opção em anos secos, já que a combinação da falta de precipitação, a baixa umidade relativa (UR%) do ar e o estresse hídrico do solo com a aplicação do enxofre via foliar podem influenciar negativamente no peso de mil grãos e no rendimento de grãos, nas safras 1 e 2.

No trabalho de Rosa (2016), em todas os estádios fenológicos em que foram aplicados o enxofre elementar houve aumento de vagens por planta, aumento de grãos por vagem, aumento da massa dos grãos, proporcionando dessa forma maior rendimento de grãos.

Vitti e colaboradores (2007) também observaram aumento no número de grãos por vagem ao avaliar o efeito de diferentes formas de aplicação de enxofre na cultura da soja, isso porque a adubação foliar é um manejo proposto para se obter ganhos no final do ciclo (BURATTO, 2018).

Pode-se associar esses bons resultados há capacidade que o S via aplicação foliar, consegue ser transportado tanto na direção acrópeta quanto na basípeta, encontrado por Silva et al. (2003), ao estudarem os efeitos de S em plantas de soja e milho.

Analizando o número de grãos por planta (GP), número de vagens por planta (VP), que não apresentaram interação significativa entre safra e estágio de aplicação de S, portanto, o melhor estágio de aplicação não dependeu da safra e vice-versa (Tabela 3).

Houve diferença estatística entre as médias de safra para GP e VP sendo que as médias da safra 2 foram superiores as médias da safra 1. Para VP as médias foram 49,83 e 52,69, nas safras 1 e 2 respectivamente.

Para GP observou-se que a aplicação de enxofre elementar no estágio R3 foi superior aos demais tratamentos, 29,10 grãos por planta a mais que a testemunha e 9,12 grãos a mais que o segundo melhor estágio de aplicação (Tabela 3).

Para variável vagens por planta (VP) observou-se que as aplicações nos estádios R3 e R5 não diferiram estatisticamente entre si, mas foram superiores a aplicação em V4 e também a testemunha, sendo que a aplicação em V4 também superou a média da testemunha, tendo em média 3,4 vagens a mais por planta (Tabela 3).

De acordo com Rezende et al. (2009) o momento da aplicação do enxofre elementar influencia no efeito do nutriente na cultura da soja, sendo que o momento em que mais houve benefícios para essa cultura foi no estágio R3 (canivete), aumentando o rendimento de grãos.

A época de aplicação influencia diretamente na média de grãos por planta, vagens por planta, e produtividade de grãos pois a maior demanda de nutrientes pelas plantas de soja acontece nos estádios R1 a R5. A absorção mais rápida de macronutrientes acontece durante o florescimento e início de enchimento de grãos, para a maioria desses, principalmente o S, o período de maior absorção em quantidade é durante o florescimento (SUZANA, et al., 2012). Isto condiz com os valores encontrados neste trabalho para a variável VP, onde as aplicações nos estádios R3 e R5 foram superiores às demais.

Em trabalho de Vitti et al. (2007), também foi observado aumento de grãos por vagem e no rendimento de grãos, indicando que a aplicação de enxofre elementar via foliar pode ser uma boa opção, da mesma forma que Legris-Delaporte et al. (1987) e

Jolivet et al. (1995), também apontaram que a aplicação de enxofre elementar tem resposta positiva em relação ao rendimento de grãos.

A adubação foliar tem como base de fundamento científico o fato de que, quando inicia o estágio reprodutivo até a maturação, ou seja, do florescimento em diante, a atividade radicular e a absorção diminuem. Mas, nesse mesmo tempo acontece uma intensa translocação de nutrientes das folhas para as sementes em formação (SUZANA, et al., 2012).

A rápida translocação e pronta absorção de S, via foliar, foi constatada por Silva et al. (2003), para todas as partes da planta de soja. Afirmam ainda que em plantas de soja, tanto o S absorvido pela raiz quanto pela folha é transportado, em maiores proporções, para as folhas superiores, mas que não há redistribuição para outras partes da planta.

5 CONCLUSÃO

A aplicação de enxofre elementar foliar apresentou resposta positiva na cultivar de soja BMS Zeus, na região e nessas condições climáticas, sendo que no presente trabalho o estágio reprodutivo R3 (canivete) foi o melhor momento de aplicação desse elemento, pois proporcionou aumento no número de vagens por planta, grãos por vagem, grãos por planta e no peso de mil grãos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, observou-se a resposta positiva do enxofre elementar na cultura da soja, entretanto, sugere-se a elaboração de um novo trabalho, avaliando os benefícios da aplicação do enxofre na soja, utilizando enxofre no solo e via foliar em ambiente protegido, com irrigação e controle ambiental a fim de observar e quantificar a resposta do enxofre elementar em condições ideais de manejo.

Além disso, avaliar a resposta de aplicações foliares de enxofre usando diferentes cultivares de soja, associado à diferentes regiões, com composição distinta de solos, para que se possa comparar as respostas da cultura, e possíveis interações ou não deste elemento aos cenários aplicado, ampliando assim o espectro de possível uso e orientações e manejo.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013. Disponível em: doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ALVAREZ, J. W. R. **Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul**. 2004. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo) – Faculdade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- ARAUJO, W. A. **Acúmulo de matéria seca, marcha de absorção de nutrientes e componentes da produção em soja de crescimento determinado e indeterminado**. 2018. Dissertação de mestrado. (Mestrado em agronomia) Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, MS. 2018.
- BIASSANI, C., A.; TEDESCO, M., J. **O enxofre no solo**. In: SIMPÓSIO ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1988, Londrina, PR. Anais... Londrina: EMBRAPA. CNPSo: IAPAR: SBCS, 1988. P. 11-29. Realizado durante a XVII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo.
- BEZERRA, A.R.G. **Botânica e Fenologia**. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Ed.) Soja: do plantio à colheita. UFV, Viçosa, 2015, p. 09-26. BORÉM, A. (Ed.) Soja: do plantio à colheita. UFV, Viçosa, 2015, p. 09-26.
- BORÉM, Aluizio; MIRANDA, Glauco Vieira; FRITSCHÉ-NETO, Roberto. **Melhoramento de plantas**, 2017.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009, 395p.
- BROCH, D. L.; PAVINATO, P. S.; POSSENTI, J. C.; MARTIN, T. N., DEL QUIQUI, E. M. **Soybean grain yield in cerrado region influenced by sulphur sources**. Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 3, p. 791-796, 2011.
- BURATTO, W.; BURATTO, W.; OLIVEIRA, A.M.; OLIVEIRA, R.; CAIONE, G.; SEBEN JUNIOR, R.F. **Pesquisas Agrárias e Ambientais Aplicação foliar de nitrogênio na soja em diferentes fases fenológicas e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum***. Nativa, v. 6, n. 4, p.333-337, 2018.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim da safra de grãos. 2021**. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> Acesso em 15 de junho de 2021.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Leite e derivados. Conjuntura Mensal Especial, Brasília, DF, 2022**. Disponível em: file:///C:/Users/Usuário/Downloads/Leite_e_derivados. Acesso em 17 de junho de 2022.
- DOMINGOS, C. S.; LIMA, L. H. S.; BRACCINI, A. L. **Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja**. Scientia Agraria Paranaensis, Maringá, v.14, n.3, p.132-140, 2015.

- ELEVAGRO. Fisiologia dos grãos de soja e as implicações na colheita, 2017. Disponível em: <<https://elevagro.com/materiais-didaticos/fisiologia-dos-graos-desoja-e-as-implicacoes-na-colheita/>>. Acesso em: 9 jun. 2022.
- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2014.
- ESPER NETO, M.; BESEN, M. R.; CONEGLIAN, C. F.; MINATO, E.A.; LIMA, R. S.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. **Macro and micronutrient contents in grain and Soybean yield [*Glycine max* (L). Merr.] after foliar application of elemental sulfur**. Revista de Ciências Agrárias. Lisboa, PO. 41(4): 945-952. 2018.
- EPSTEIN, E., BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina -PR: Editora Planta. 2006.
- FARIAS, J., R., B., NEPOMUCENO, A., L., NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. In: Circular Técnica, vol. 48. Embrapa e Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, p. 9. 2007.
- FERREIRA, V., R. **Enxofre**. Disponível em <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/enxofre.htm> Acesso em 14 de maio de 2021.
- FREITAS, M. **A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola**. Enciclopédia Biosfera, v. 7, n. 12, 2011.
- FRANCESCHI, L. **Adaptabilidade, estabilidade e efeito de variáveis meteorológicas sobre a qualidade tecnológica de cultivares de trigo no estado do Paraná**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009, 103p. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Agronomia, Pato Branco, 2009.
- GERMIDA, J., J.; JANZEN, H., H. **Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils**. Fertilizer Research, Wageningen, Netherlands, v.35, p.101-114, 1993.
- HOROWITZ, N.; MEURER, J. E. **Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais**. Ciência Rural, v.36, p-2006-828. DOI. 36. 10.1590/S0103-84782006000300015.
- HOROWITZ, N., MEURER, J., E. **Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solos do Brasil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 455-463. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000300005>. 2007.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia- Dados Pluviométricos Erechim- RS, 2022.
- JOLIVET, P.; BERGERON, E.; ZIMIERSKI, A.; MEUNIER, J.C. **Metabolism of elemental sulphur and oxidation of sulphite by wheat and spinach chloroplasts**. Phytochemistry, v.38, p.9-14, 1995.
- KELLY, D. P.; WOOD, A. P. **Reclassification of some species of Thiobacillus to the newly designated genera Acidithiobacillus gen. nov., Halothiobacillus gen. nov. and Thermithiobacillus gen. nov.** International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, v. 50, n. 2, p. 511-516, 2000.
- LEGRIS-DELAPORTE, S.; FERRON, F.; LANDRY, J.; COSTES, C. **Metabolization of elemental sulfur in wheat leaves consecutive to its foliar application**. Plant Physiology, v.85, p.1026-1030, 1987.
- LISBOA, W. **Ciclo do Enxofre- Bacterias Sulfitogenica**. 2015. Disponível em: <<https://prezi.com/whnr68fmklir/ciclo-do-enxofre-bacterias-sulfitogenica/>> Acesso

em: 27 de maio de 2021.

- LUCHETA, A. R. **Oxidação microbiológica do enxofre elementar no solo**. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. doi:10.11606/T.11.2011.tde-17032011-085800. Acesso em 06 mai 2022.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação na soja**. Ultrafertil, Departamento de Serviços Técnicos Agrônômicos, 40p. 1978.
- MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **SOJA: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Evangraf, p. 31, 2005.
- NASSER, M. D., JACON, C. P. R. P., TAVARES, M. B., KOHORI, C. B., FERREIRA, J. P. S., ZONTA, A. **Chemical attributes of soils managed by a sugar and alcohol plant located in Nova Alta Paulista**. Research, Society and Development, v. 10, n. 3. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13053>. 2021.
- NOGUEIRA, P. D. M.; SENA JÚNIOR, D. G; RAGAGNIN, V. A. **Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura**. Global Science and Technology, Singapore, v. 3, n. 2, p. 117-124, 2010.
- PRADO, R. M.; FRANCO, C. F.; PUGA, A. P. **"Deficiências de macronutrientes em plantas de soja cv. BRSMG 68 (Vencedora) cultivadas em solução nutritiva."** Comunicata Scientiae, vol. 1, não. 2, julho de 2010, pág. 114+. Gale
- PÍPOLO, A. E.; MANDARINO, J.M.G. **Os teores de proteína da soja e a qualidade para a indústria**. Boletim técnico da SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.42, n. 2, 2016.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes**. 1. ed. Piracicaba - SP: IPNI - INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, 2011. p. 1-420.
- REZENDE, P.M.; CARVALHO, E.R.; SANTOS, J.P; ANDRADE, M.J.B; ALCANTARA, H.P.; **Enxofre aplicado via foliar na cultura da soja**. Ciências Agrotécnicas, v. 33, n. 5, p. 1259. Disponível em <<https://www.scielo.br/pdf/cagro/v33n5/v33n5a08.pdf>>. 2009.
- RHEINHEIMER, D. S.; ALVAREZ, R. W. J.; FILHO, O. D. B.; SILVA, S. L.; BORTOLUZZI, C. E. **Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto**. Ciência Rural, v. 35, n. 03, p. 562-569, 2005.
- ROSA, J. A. **Influência de diferentes épocas de aplicação de enxofre elementar sobre a produtividade de grãos na cultura da soja**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus. Dois Vizinhos. 2016.
- SEDIYAMA, TUNEO. **Tecnologias de produção e uso da soja**. Londrina, PR, Mecenas, p. 324, 2009.
- SEDIYAMA, T.; OLIVEIRA, R.C.T.; SEDIYAMA, H.A. **A soja**. In: SEDIYAMA, T.(Ed.) Produtividade da Soja. Mecenas: Londrina, p. 11-18. 2016.
- SFREDO, J. G.; LANTMANN, A. F. **Enxofre Nutriente necessário para maiores rendimentos da soja**. EMBRAPA. C.T. 53. Londrina, PR. 2007.
- SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. EMBRAPA

- Soja, Londrina, n. 305, 148 p. 2008.
- SILVA, A. N.; FIORIN, J.E.; REBELATO, S. S.; NOWICKI, A.; COLLING, A.; **Diagnostico dos teores de enxofre extraível no solo das áreas de agricultura de precisão do Rio Grande do Sul.** Resumo - XXXIV Congresso Brasileiro de ciência do solo. Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, RS, p. 4, 2013.
- SILVA, D. J.; VENEGAS, V. H. A.; RUIZ, H. A.; SANT'ANNA, R. **Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja.** Pesquisa Agropecuaria Brasileira. V38, n6. Brasília, DF. 2003.
- SULINO, WC; BUSO, W.H.D. **Adubação foliar (S, Mn e Zn) em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro irrigado.** Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 10, n. 10, pág. e388101018830, DOI: 10.33448/rsd-v10i10.18830. 2021.
- SUZANA, C. S.; BRUNETTO, A.; MARANGON, D.; TONELLO, A. A.; KULCZYNSKI, S. M. **Influência da adubação foliar sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas.** Enciclopedia Biosfera, v. 8, p. p. 2 3 8 5-2 3 9 2, 2012.
- STIPP, SILVIA REGINA; CASARIN, VALTER. **A importância do enxofre na agricultura brasileira.** International Plant Nutrition Institute. Informações agronômicas. n° 129, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2004.
- TIECHER, T.; SANTOS, D. R.; RASCHE, J. W. A.; BRUNETTO, G.; MALLMANN, F. J. K.; PICCIN, R. **Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetidos à adubação sulfatada.** Bragantia, 71(4), 518-527. https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052012000400010&script=sci_abstract&tlng=pt. 2012.
- TISDALE, S., L.; NELSON, W., L.; BEATON, J., D.; HAVLIN, J., L. **Soil fertility and fertilizers.** 5 ed. New York: MacMilan, 634p. p.266-303. Cap.8:Soil and fertilizer sulfú, calcium and magnesium. 1993.
- USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AFRICULTURE. **Oilseeds: World Markets and Trade.** 2021. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/oilseeds/circular/2021>. Acesso em: 04 de junho de 2021.
- VITTI, G. F.; OTTO, R.; SAVIETO, J. Manejo do Enxofre na agricultura. **International Plant Nutrition Institute – Brasil.** Informações Agronômicas n 152. Piracicaba, SP. 2015.
- VITTI, G. F.; FAVARIN, J. L.; GALLO, L. A.; PIEDADE, S. M. S.; FARIA, M. R. M.; CICARONE, F. **Foliar elementary sulfur assimilation by soybean.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. V42, n2. Brasília, DF. 2007.
- VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. **Cálcio, magnésio e enxofre. Nutrição mineral de plantas.** Viçosa. p. 300-326, 2006.
- ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A.; JUNIOR, L. A. Z. **Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas.** Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Fitopatologia, Viçosa, MG, 327.p, 2012.