

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
MESTRADO PROFISSIONAL EM DESENVOLVIMENTO RURAL
DA UNIVERSIDADE DE CRUZ ALTA**



Elton César Callegaro

**RESPOSTA DE HUMIMAX S 20 NA ADUBAÇÃO NA CULTURA DA
SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso

CRUZ ALTA- RS, 2015

Elton César Callegaro

**RESPOSTA DE HUMIMAX S 20 NA ADUBAÇÃO NA CULTURA DA
SOJA**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Curso de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural, da Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Rural.

Orientador: Jackson Ernani Fiorin

Cruz Alta – RS, Dezembro 2015

Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ
Curso de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural

RESPOSTA DE HUMIMAX S 20 NA ADUBAÇÃO NA CULTURA DA SOJA

Elaborado por

Elton César Callegaro

Como requisito final para aprovação no Curso de
Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin – Orientador _____	UNICRUZ
Prof. Dr. Luciano Zucuni Pês _____	UFSM
Prof. Dr. Rafael Pivotto Bortolotto _____	UNICRUZ

Cruz Alta, 16 de Dezembro de 2015

RESUMO

RESPOSTA DE HUMIMAX S 20 NA ADUBAÇÃO NA CULTURA DA SOJA

Autor: Elton César Callegaro

Orientador: Prof. Dr. Jackson Ermani Fiorin

A essencialidade do enxofre para as plantas é indiscutível, pela presença essencial dos aminoácidos sulfurados que compõem as proteínas vegetais. As exigências de enxofre pelas culturas variam muito de acordo com a espécie e com a produtividade esperada. A disponibilidade deste nutriente varia amplamente com as condições de solo, clima e cultivo. Entretanto, o uso do solo de forma inadequada, resultando em diminuições no teor de matéria orgânica, associado às sucessivas exportações do nutriente, através das altas produtividades que vem sendo obtidas nos sistemas de produção de grãos, aliado a utilização frequentes de fertilizantes NPK cada vez mais concentrados e com baixos teores de enxofre, reduzem a disponibilidade de enxofre no solo. De uma maneira geral, existem poucos estudos sobre a resposta das plantas ao enxofre. Tem sido apontado o uso de enxofre elementar como fertilizante. Entretanto, o enxofre elementar, quando aplicado ao solo, somente é absorvido pelas plantas depois de sua oxidação a $S-SO_4^{-2}$ por meio de reações catalisadas, principalmente, por microrganismos. Em virtude que a distribuição uniforme do enxofre elementar na forma de pó, a campo, ser difícil, várias empresas buscam desenvolver fertilizantes que na sua formulação apresentam propostas viáveis para atender esta dificuldade operacional. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agrônômica de diferentes doses de Fertilizante Organomineral HUMIMAX S20 aplicados na linha de semeadura misturado ao adubo NPK. Foi conduzido a campo experimento com a cultura da soja no ano agrícola de 2014/2015, em Santo Ângelo, RS. Os tratamentos foram constituídos por diferentes doses de Fertilizante: T1. (sem produto): 0 kg ha⁻¹; T2. 80 kg ha⁻¹; T3. 120 kg ha⁻¹; T4. 200 kg ha⁻¹. O HUMIMAX é um Fertilizante Organomineral Classe A, produzido a partir de turfa com enriquecimento de enxofre elementar. Apresenta-se na formulação granulada e possui carbono orgânico (13,5%) e enxofre elementar (20%). As doses foram aplicadas na linha de semeadura misturadas a adubação de base (300 kg ha⁻¹ da fórmula 02-23-23). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 4 repetições. Houve resposta significativa pela utilização do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 na produtividade de grãos de soja. Os incrementos nos teores de enxofre no solo pela utilização do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 foram pequenos, provavelmente atribuídos, a alta exportação de enxofre pela cultura da soja comparado à quantidade adicionada do nutriente.

Palavras-chave: Enxofre Elementar, Substâncias Húmicas, soja.

ABSTRACT

RESPONSE HUMIMAX S 20 NA FERTILIZATION WITH SOYBEAN CROP

Author : Elton César Callegaro

Advisor: Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin

The essentiality of the sulfur to the plants is indisputable, the essential presence of sulfur amino acids that make up the vegetable protein. Sulfur requirements for cultures vary widely according to the species and the expected productivity. The availability of this nutrient varies widely with soil conditions, climate and cultivation. However, land use inappropriately, resulting in decreases in organic matter, associated with successive exports of the nutrient through the high yields that has been obtained in grain production systems, coupled with frequent use of fertilizers NPK time more concentrated and with low sulfur content, reduce the availability of sulfur in the soil. In general, there are few studies on the response of plants to sulfur. It has been suggested the use of elemental sulfur as fertilizer. However, elemental sulfur, when applied to the soil, absorbed by plants is only after its oxidation to $S-SO_4^{-2}$ via reactions catalyzed mainly by microorganisms. Due to the uniform distribution of elemental sulfur in powder form, the field is difficult, many companies seek to develop fertilizers that in its formulation present viable proposals to meet this operational difficulty. Accordingly, the aim of this study was to evaluate the agronomic efficiency of different doses of organic-fertilizer applied at sowing HUMIMAX S20 line mixed with NPK fertilizer. It conducted the experiment field with the soybean crop in the agricultural year 2014/2015, in San Angelo, RS. The treatments consisted of different doses of fertilizer: T1. (no product): 0 kg ha^{-1} ; T2. 80 kg ha^{-1} ; T3. 120 kg ha^{-1} ; T4. 200 kg ha^{-1} . The organomineral fertilizer HUMIMAX is a Class A, made from peat elemental sulfur enrichment. It is shown in granule formulation and include organic carbon (13.5%) and elemental sulfur (20%). The doses were applied at sowing line mixed with basic fertilization (300 kg ha^{-1} formula 02-23-23). The experimental design was randomized blocks, with four repetitions. Significant responses by the use of the organomineral fertilizer HUMIMAX S 20 in productivity of soybeans. The increases in sulfur content in the soil by the use of organic-fertilizer HUMIMAX S 20 were small, probably attributed the high export sulfur by soybean crop compared to the added amount of the nutrient.

Keywords: Sulphur Elementary, Humic Substances, Soybean

LISTA SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais

APROSOJAMS - Associação dos Produtores de Soja de Mato Grosso do Sul

COREDE – Conselho Regional de Desenvolvimento

CQFS-RS/SC - Comissão de química e fertilidade do solo RS/SC

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEE - Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser

IPNI - International Plant Nutrition Institute

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

POTAFÓS - Instituto da Potassa e Fosfato

SEAB - Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01.** Formação de turfas. Fonte: Germani (2015).....25
- Figura 02.** Mapa da localização das turfeiras no Brasil. Adaptado de Freitas, Souza Junior (2015) e Silva et al. (2015).....27
- Figura 03.** (A) Localização das mesorregiões do Rio Grande do Sul (Adaptado de Castello, 2015) (B) Mapa de regionalização do COREDEs do Rio Grande do Sul (FEE, 2015).....28
- Figura 04.** Localização da área experimental situada no Distrito de Restinga Seca, Município de Santo Ângelo (RS) e coordenadas de Latitude $28^{\circ} 14' 31,92''$ S e longitude $54^{\circ}20' 18,07''$ W.....29
- Figura 05.** Precipitação pluviométrica diária e acumulada no período experimental da pesquisa com Fertilizante Organomineral HUMIMAX S20. UNICRUZ, Santo Ângelo, RS, 2015.....29
- Figura 06.** Ilustração da formulação granulada e da embalagem comercial do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S20%. UNICRUZ, Santo Ângelo, RS, 2015.....31
- Figura 07.** Comportamento da produtividade de grãos de soja em resposta à doses do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 na cultura da soja. UNICRUZ, Cruz Alta, RS. 2015.....35

LISTA DE TABELAS

- Tabela 01.** Estádios vegetativos e reprodutivos da cultura da soja..... 13
- Tabela 02.** Características químicas nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm, na condição inicial da área experimental. Santo Ângelo, RS. 2014.....30
- Tabela 03.** Produtividade de grãos em resposta doses do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 na cultura da soja. UNICRUZ. Cruz Alta, RS. 2015.... 34
- Tabela 04.** Teores de enxofre extraível no solo, após a colheita da soja na camada 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade em resposta doses do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 na cultura da soja. UNICRUZ. Cruz Alta, RS. 2015.....37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
2 REVISAO DE LITERATURA	11
2.1 A Cultura da Soja	11
2.2 Estádios Fenológicos da Soja	12
2.3 Exigência Nutricional na Cultura da Soja	14
2.3.1 Importância e Exigência de Enxofre nas Plantas.....	15
2.4 Dinâmica do Enxofre no solo	17
2.5 Resposta a Adubação com Enxofre	19
2.6 A Matéria Orgânica e as Substâncias Húmicas	23
2.6.1 Turfa	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Local e Solo	28
3.2 Tratamentos	30
3.3 Instalação e Condução do Experimento	31
3.4 Avaliações e Análise Estatística	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5 CONCLUSÃO.....	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a produção de alimentos, frente ao aumento expressivo da população mundial nos últimos anos, torna a economia mundial cada vez mais globalizada e tem sido o principal propulsor responsável pelo aumento da produção de soja. No Brasil, a soja é a cultura que mais cresceu nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área plantada em grãos do país.

Considerando o aumento da demanda por produtos agrícolas é imprescindível que o aumento da produtividade nos sistemas de produção ocorra de maneira sustentável sem que haja necessariamente um aumento de área. O aumento expressivo na produtividade está, em grande parte, associado aos avanços tecnológicos, ao manejo e eficiência dos produtores, tornando a agricultura nacional competitiva em nível mundial.

Dessa forma o manejo e a fertilidade dos solos são fatores de suma importância para o sucesso da atividade agrícola. Aliado a isso, há alta exigência da soja por nutrientes, sendo de fundamental importância o estabelecimento do manejo da adubação para obtenção de altos rendimentos da cultura.

A essencialidade do enxofre para as plantas é indiscutível, pela presença essencial dos aminoácidos sulfurados que compõem as proteínas vegetais. As exigências de enxofre pelas culturas variam muito de acordo com a espécie e com a produtividade esperada. No entanto, dentre as espécies cultivadas, a soja é a maior exportadora de enxofre da agricultura brasileira, exigindo em quantidades maiores ou iguais às de fósforo.

A disponibilidade do enxofre varia amplamente com as condições de solo, clima e cultivo. Entretanto, o uso do solo de forma inadequada, resultando em diminuições no teor de matéria orgânica, associado às sucessivas exportações do nutriente, através das altas produtividades que vem sendo obtidas nos sistemas de produção de grãos, aliado a utilização frequentes de fertilizantes NPK cada vez mais concentrados e com baixos teores de enxofre, reduzem a disponibilidade de enxofre no solo.

De uma maneira geral, existem poucos estudos sobre a resposta das plantas ao enxofre. Nesse sentido existe a necessidade de se entender melhor a dinâmica do enxofre no solo e a resposta das culturas a esse nutriente. As principais fontes de enxofre utilizadas para suprir o nutriente às plantas são o gesso agrícola, o sulfato de amônio e o superfosfato simples. Nestes fertilizantes, o enxofre encontra-se na forma de $S-SO_4^{-2}$, prontamente disponível à planta. Tem sido apontado o uso de enxofre elementar (S^0) como fertilizante.

Entretanto, o enxofre elementar, quando aplicado ao solo, somente é absorvido pelas plantas depois de sua oxidação a $S-SO_4^{-2}$ por meio de reações catalisadas, principalmente, por microrganismos. Em virtude que a distribuição uniforme do enxofre elementar na forma de pó, a campo, ser difícil, várias empresas buscam desenvolver fertilizantes que na sua formulação apresentam propostas viáveis para atender esta dificuldade operacional. Nesse sentido, se apresenta o Fertilizante Organomineral HUMIMAX S20, que utiliza turfa como veículo da adubação com enxofre elementar, objeto do presente trabalho, na complementação de enxofre para altas produtividades da soja.

Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi:

- a) Avaliar a resposta do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 na produtividade da soja;
- b) Avaliar os incrementos dos teores de enxofre no solo pela utilização do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20.

2 REVISAO DE LITERATURA

2.1 A Cultura da Soja

A mais antiga referência sobre soja seria atribuída ao imperador chinês Shennong ou Shen-nung, também conhecido como o Imperador Yan ou, ainda, o Imperador dos Cinco Grãos. É um lendário imperador chinês e herói cultural da mitologia chinesa que, acredita-se, deve ter vivido há cerca de 5.000 anos atrás. Seu nome significa, literalmente, o Fazendeiro Divino. Considerado como pai da agricultura chinesa, é tido como responsável por ter ensinado aos antigos a prática da agricultura, mostrando como cultivar grãos para evitar matar animais (HIRAKURI E LAZZAROTTO, 2014).

A economia mundial cada vez mais globalizada tem sido o principal propulsor responsável pelo aumento da produção de soja. Com o aumento do consumo em países como a China a demanda pela oleaginosa tem sido cada vez maior (SEAB, 2015).

A soja faz parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial. Observa-se que a soja tem sido o quarto grão mais consumido e produzido globalmente, atrás de milho, trigo e arroz, além de ser a principal oleaginosa cultivada anualmente no mundo. Adicionalmente, no período entre os anos agrícolas 2000/01 e 2013/14, a soja e o milho são as culturas que apresentaram os crescimentos absolutos mais expressivos, tanto em consumo quanto produção. Aproximadamente 90% dos grãos consumidos são direcionados ao processo de esmagamento, que irá gerar farelo e óleo de soja, em uma proporção próxima a (80/20), sem considerar as perdas. Assim, o principal produto gerado nesse processo será o farelo de soja, que, junto com o milho, constituirá matéria-prima essencial para a fabricação de rações. Em outros termos, a demanda por soja em grão e seu principal produto derivado será dependente do mercado de carnes (HIRAKURI E LAZZAROTTO, 2014).

Nos últimos trinta anos o Brasil tornou-se o segundo maior produtor mundial de soja e o segundo maior exportador de soja e farelo de soja com uma participação de mais de 33% do mercado mundial (CAVALETT, 2008).

Originariamente, a soja é uma planta subtropical, mas, com o melhoramento genético, pode ser cultivada hoje até a latitude de 52° N. Na década de 20 do século passado, agricultores americanos iniciaram o cultivo da soja em larga escala, que era usada principalmente como um insumo para ração animal (CAVALETT, 2008).

No Brasil, o grão foi introduzido no estado do Rio Grande do Sul por volta de 1960 e até meados de 1970, cerca de 80% da produção nacional de soja concentrava-se na região Sul. Atualmente, seu cultivo avançou por todo Cerrado e chegou até a região Norte do país (CAVALETT, 2008).

O cenário negativo para os preços da soja no mercado mundial, diante da expectativa de ampla oferta na atual temporada 2014/15, levou a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) a revisar para baixo suas projeções para a receita com os embarques brasileiros da matéria-prima e de seus derivados no ano que vem. A entidade estimou ontem que as exportações de soja em grão, farelo e óleo do país em 2015 (correspondente à safra 2014/15, que está sendo semeada) ficarão 2,3% menores que o previsto em setembro, em US\$ 23,127 bilhões (APROSOJAMS, 2015).

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área plantada em grãos do país. O aumento da produtividade está associado aos avanços tecnológicos, ao manejo e eficiência dos produtores. O grão é componente essencial na fabricação de rações animais e com uso crescente na alimentação humana encontra-se em franco crescimento. Cultivada especialmente nas regiões Centro Oeste e Sul do país, a soja se firmou como um dos produtos mais destacados da agricultura nacional e na balança comercial (MAPA, 2015).

2.2 Estádios Fenológicos da Soja

Conforme Pires (2015), entende-se por ciclo de vida ou ciclo biológico como sendo um conjunto de transformações pelo qual podem passar os indivíduos de uma espécie durante sua existência.

Segundo o IPNI (2015), o crescimento e o desenvolvimento da soja são medidos pela quantidade de massa seca (matéria seca) acumulada na planta. Com exceção da água, a massa seca consiste em tudo que se encontra na planta, incluindo carboidratos, proteínas, lipídeos e nutrientes minerais. A planta de soja produz a maior parte da sua massa seca por meio de um processo único, denominado fotossíntese. Durante a fotossíntese, a energia luminosa gerada pelo sol promove um processo no interior da planta, onde o dióxido de carbono proveniente do ar, junto com a água proveniente do solo, combina-se para produzir açúcares (compostos carbonados longos). Esses açúcares produzidos pela fotossíntese, junto com os nutrientes

minerais obtidos do solo, são os ingredientes básicos necessários para a elaboração dos carboidratos, proteínas e lipídeos da matéria seca.

O conhecimento do ciclo fenológico de uma determinada cultura determina o melhor tipo de manejo, as características morfológicas da planta, seu momento fisiológico, associados a necessidades por parte do vegetal, que uma vez atendidas possibilitam desenvolvimento normal da cultura e conseqüentemente boas produtividades. A descrição da fenologia da soja permite identificar e agrupar os estádios de desenvolvimento da cultura e relacioná-los com suas necessidades específicas no decorrer do ciclo. A descrição dos estádios de desenvolvimentos de Fehr e Caviness (1977) é o mais utilizado no mundo, pois apresenta uma terminologia única, que divide o desenvolvimento da soja em estádios vegetativos.

O sistema proposto por Fehr e Caviness (1977), apresentado em IPNI (2015), divide os estádios de desenvolvimento da soja em estádios vegetativos e estádios reprodutivos. Os estádios vegetativos são designados pela letra V e os reprodutivos pela letra R. Com exceção dos estádios VE (emergência) e VC (cotilédone), as letras V e R são seguidas de índices numéricos que identificam estádios específicos, nessas duas fases do desenvolvimento da planta. Desta forma, subdivisões da fase vegetativa são designadas numericamente como V1, V2, V3, até Vn, onde “n” representa o número do último nó vegetativo formado por um cultivar específico. O valor de “n” varia em função das diferenças varietais e ambientais. A fase reprodutiva apresenta oito subdivisões ou estádios, cujas representações numéricas e respectivos nomes são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Estádios vegetativos e reprodutivos da soja¹

Estádios vegetativos	Estádios reprodutivos
VE – Emergência	R ₁ – Início do florescimento
VC - Cotilédone	R ₂ – Pleno florescimento
V ₁ – Primeiro nó	R ₃ – Início da formação das vagens
V ₂ – Segundo nó	R ₄ – Plena formação das vagens
V ₃ – Terceiro nó	R ₅ - Início do enchimento das sementes
*	R ₆ – Pleno enchimento das vagens
*	R ₇ – Início da Maturação
V _(n) – enésimo nó	R ₈ – Maturação plena

¹ Este sistema identifica exatamente os estádios da planta de soja. Porém, nem todas as plantas em um dado campo estarão no mesmo estágio ao mesmo tempo. Quando se divide um campo de soja, cada estágio específico V ou R é definido somente quando 50% ou mais das plantas no campo estão nele ou entre aquele estágio.

2.3 Exigência Nutricional na Cultura da Soja

De acordo com Sfredo e Lantmann (2007), a maioria dos solos do Brasil onde se cultiva soja, ou aqueles que ainda serão incorporados aos processos produtivos com cultivo de culturas anuais, tem alguma deficiência de nutrientes ou desequilíbrio entre eles, que impedem as culturas como a soja, o milho e o trigo, de não render o máximo que seu potencial genético garantiria em condições de alta e equilibrada oferta de nutrientes no solo.

A absorção de nutrientes pela soja é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como chuva e temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratamentos culturais (BORKERT et al., 1994).

O elemento mais requerido pela soja é o nitrogênio. Portanto, para uma produção de 3.000 kg ha^{-1} , há a necessidade de 246 kg de nitrogênio, que são obtidos, em pequena parte, do solo (25% a 35%) e, na maior parte, pela fixação simbiótica do nitrogênio (65% a 85%). Por estes dados pode-se avaliar a importância de se fazer uma inoculação bem feita, com inoculante de boa qualidade, para ter eficiência na fixação simbiótica do nitrogênio do ar a custo zero, através das bactérias nos nódulos das raízes da soja. Por isso, deve-se evitar a adubação com nitrogênio mineral, pois além de causar a inibição da nodulação e reduzir a eficiência da fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico não aumenta a produtividade da soja. Quando a adubação for feita com adubo formulado, cuja fórmula possua nitrogênio e esta seja de menor custo que a mesma fórmula sem nitrogênio, pode-se utilizá-la na semeadura desde que não ultrapasse 20 kg de N/ha. Para que a fixação simbiótica seja eficiente, há a necessidade de se corrigir a acidez do solo e fornecer os nutrientes que estejam em quantidades limitantes. Na sequência, os mais exigidos são o potássio, o enxofre e o fósforo (BORKERT et al., 1994).

Conforme Sales (2015), o enxofre, o cálcio e o magnésio são conhecidos como macronutrientes secundários. Embora, do ponto de vista da nutrição vegetal, nenhum nutriente possa ser considerado secundário, quantitativamente é assim que estes nutrientes são tratados. A falta destes elementos no solo pode levar a situações de deficiência, que precisam e podem ser evitadas. A mais grave entre os macronutrientes secundários é a do enxofre (RAIJ, 1991), principalmente porque cálcio e magnésio geralmente são adicionados ao solo em quantidades adequadas através da calagem.

2.3.1 Importância e Exigência de Enxofre nas Plantas

O Enxofre é um nutriente essencial para as plantas situando-se no grupo dos macronutrientes, juntamente com o Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio. A essencialidade do enxofre para as plantas é indiscutível, faz parte de cada célula viva pela presença essencial dos aminoácidos sulfurados, metionina e cisteína, que compõem as proteínas vegetais (SFREDO E LANTMANN, 2007; THOMAS et al., 1950). Os aminoácidos com enxofre formam as chamadas "pontes de enxofre", que contribuem para a estrutura terciária das proteínas (EPSTEIN, 1975). As assimilações de enxofre e nitrogênio são bem coordenadas, ou seja, a deficiência de um elemento reprime a via assimilativa do outro (SALLES, 2015). Segundo Malavolta (1980), as proteínas são os compostos nos quais a maior parte do enxofre se incorpora, havendo uma estequiometria muito fixa, para cada átomo de enxofre há em média 34 átomos de nitrogênio, onde o teor de enxofre nas proteínas é de 0,1% e o do N é cerca de 1,5% (MALAVOLTA, 1980).

Existem várias enzimas e vitaminas que contém enxofre no seu sítio ativo (EPSTEIN, 1975; POTAFÓS, 1998). A tiamina, a biotina e a coenzima A são coenzimas de baixo peso molecular que contem enxofre, essenciais para o metabolismo quando ligadas a apoenzimas apropriadas (proteínas) que requerem estas coenzimas ou grupos prostéticos para a atividade catalítica (EPSTEIN, 1975).

O enxofre também é necessário para formação de da clorofila, apesar de não ser um constituinte dela, está presente em vários compostos orgânicos que dão os odores característicos do alho e à cebola (POTAFÓS, 1998). As ferredoxinas são proteínas que contem ferro e não apresentam o grupo heme, envolvidos na fotossíntese e em outras reações de transferência de eletrônica, contem enxofre em quantidade equivalente ao ferro presente (EPSTEIN, 1975). De acordo com Malavolta (1980), as ferredoxinas também estão implicadas na fixação biológica do gás nitrogênio do ar e em outras reações de transferência de energia.

A função metabólica mais importante do enxofre prende-se talvez ao fato de que ele, na forma do radical sulfídrico (SH), constitui o grupo ativo de muitas enzimas implicadas no anabolismo dos carboidratos, gorduras e proteínas (MALAVOLTA et al., 1974). Ésteres de sulfato com polissacarídeos são componentes estruturais importantes das membranas celulares, bem como os grupos SH, nas proteínas enzimáticas, podem ser o sítio de ligação do

substrato com muitas enzimas do metabolismo dos carboidratos, desempenhando um papel essencial nas reações de transferência de radicais que contém um carbono (MALAVOLTA, 1980).

Adicional a isso, o aminoácido metionina é precursor do etileno, este participa da síntese de hormônios que regulam o desenvolvimento das plantas, tais como auxinas, giberelinas e citocininas (MORAL et al., 1999).

Considerando a qualidade da produção, as sínteses das proteínas que requerem estes aminoácidos como exemplam a glutenina do trigo, torna-se prejudicada pela deficiência de enxofre. Na cultura do trigo, este elemento tem importante papel na qualidade da farinha, contribuindo para a característica de extensibilidade da massa, pois para haver uma boa panificação, os radicais sulfidrilos (-SH) e dissulfeto (S-S) são indispensáveis (WRIGLEY et al., 1984).

A forma predominante de absorção do íon sulfato pelas raízes é por fluxo de massa, ou seja, graças ao caminhamento da solução do solo a favor do gradiente de umidade (BARBER, 1984). A entrada (assimilação) do enxofre é exclusivamente na forma de compostos orgânicos, ou seja, o enxofre pode ser assimilado na forma dos aminoácidos cisteína ou metionina, estes se convertem em proteínas e na síntese destas, são formados outros compostos de enxofre (MALAVOLTA & MORAIS, 2007).

O transporte pode ser definido como o movimento do elemento, no caso enxofre, do órgão de absorção, raiz ou folha, para outro órgão qualquer. O enxofre caminha da raiz para a parte aérea (direção acrópeta) via xilema, juntamente com a corrente respiratória, na forma do íon sulfato e aminoácidos; no inverso, ou seja, da parte aérea para o sistema radicular, é transportado via floema, na forma de sulfato e aminoácidos (MALAVOLTA & MORAIS, 2007). Segundo Malavolta (1980), a capacidade da planta para mover o enxofre da direção basípeta é muito pequena; em caso de carência de enxofre os sintomas aparecem por isso em primeiro lugar nos órgãos mais novos, como as folhas mais novas.

A redistribuição do enxofre se dá da mesma forma que o transporte (MALAVOLTA & MORAIS, 2007). Embora o enxofre seja absorvido na forma de sulfato, a sua maior concentração na planta é representada por formas reduzidas correspondente ao sulfeto, segue-se daí a incorporação do enxofre em compostos orgânicos exige a sua prévia redução. As interações entre o nitrogênio e o enxofre podem causar um efeito sinérgico ou antagônico. Com a falta de S diminui a síntese de aminoácidos sulfurados e proteínas, conseqüentemente ocorre a diminuição da eficiência da utilização do nitrogênio (MALAVOLTA & MORAIS, 2007).

As exigências de enxofre pelas culturas variam muito de acordo com a espécie e com a produtividade esperada (ALVAREZ et al., 2007). Segundo os autores, as espécies mais exigentes pertencem às famílias das crucíferas (colza e repolho) e liliáceas (alho, cebola), com demandas de 70 a 80 kg ha⁻¹ de S. As leguminosas e forrageiras apresentam menores requerimentos, podendo variar, em média, de 40 a 50 kg ha⁻¹ de S e de 15 a 30 kg ha⁻¹ de S, respectivamente.

Dentre as espécies cultivadas, a soja é a maior exportadora de S da agricultura brasileira (SALES, 2015; YAMADA & LOPES, 1998), requerendo cerca de 8,2 kg de S para cada tonelada produzida, enquanto o milho e o trigo exigem respectivamente, 2,6 kg e 4,3 kg. Estima-se que a cultura da soja na safra 2006/2007 exportou 184.000 t de S. A importância do enxofre para cultura da soja esta ligada à formação de aminoácidos, que por sua vez são necessários para a formação de todas as proteínas. A soja é considerada uma fonte de proteína completa, isto é, contém quantidades significativas de todos os aminoácidos essenciais que devem ser providos ao corpo humano através de fontes externas, por causa de sua inabilidade para sintetizá-los.

Dentre os nutrientes, o enxofre se aproxima funcionalmente do nitrogênio. Embora a quantidade de enxofre nas plantas seja 3% a 5% da quantidade encontrada de nitrogênio, estes nutrientes compartilham uma grande versatilidade em reações de oxidação-redução, um atributo que os torna fundamentais em ciclos biogeoquímicos e no metabolismo de plantas. Devido à participação do enxofre em um grande número de compostos e reações, a sua falta provoca uma série muito grande de distúrbios metabólicos, tais como a diminuição na fotossíntese e na atividade metabólica, queda na síntese de proteínas e diminuição da fixação simbiótica de nitrogênio.

2.4 Dinâmica do Enxofre no solo

Nos solos tropicais e subtropicais, o enxofre está presente nas formas orgânica e inorgânica (FRENEY, 1986), sendo a primeira forma predominante. A proporção entre estas duas formas de enxofre no solo varia com o tipo de solo e a sua profundidade. Nos horizontes superficiais dos solos, principalmente os tropicais, o enxofre orgânico constitui a maior parte do S total. Porém, com o aumento da profundidade, o enxofre orgânico diminui com o decréscimo da matéria orgânica (DUKE & REISENAUER, 1986). Em horizontes superficiais

de vários solos brasileiros, Neptune et al. (1975) verificaram que o enxofre orgânico constituía entre 77% e 95% do enxofre total. Desta forma, aproximadamente 95 % do S do solo encontra-se na forma orgânica, e representa importante reserva desse nutriente, principalmente nos solos com alto grau de intemperização (NOGUEIRA e MELO, 2003).

Pelo fato da fração orgânica deste nutriente ser a predominante, a mineralização e imobilização regulam o ciclo no solo e controlam a disponibilidade de S às plantas (NZIGUHEBA et al., 2005). Dessa forma, o armazenamento de S orgânico significa suprimento constante deste elemento às plantas e para isso, a manutenção de teores adequados de matéria orgânica no solo é fundamental.

A mineralização da matéria orgânica pode se tornar o S orgânico disponível às plantas (NOGUEIRA E MELO, 2003). A arilsulfatase, uma enzima que participa do ciclo do S no solo, ao hidrolisar ligações do tipo éster de sulfato, libera íons sulfato. A origem da enzima pode ser microbiana ou vegetal. A atividade da arilsulfatase no solo decresce com a profundidade e com a diminuição do teor de matéria orgânica, por constituir a principal reserva de ésteres de sulfato, que são substratos da enzima.

Em condições aeróbicas, o ânion SO_4^{-2} é a forma mineral de S predominantemente encontrada no solo e também a principal forma do elemento absorvida pelas plantas (NEPTUNE et al., 1975). A população microbiana, ao decompor compostos orgânicos com baixa relação C/S disponibiliza o SO_4^{-2} por mineralização para a solução do solo. O enxofre inorgânico a forma disponível para as plantas que ocorre na forma de ânion sulfato (SO_4^{-2}), em decorrência de sua carga negativa, não é atraído para as superfícies da argila do solo e da matéria orgânica, exceto sob certas condições de acidez. Ele permanece na solução do solo e se movimenta com a água do solo e, assim, é prontamente lixiviado. Certos solos acumulam SO_4^{-2} no subsolo, onde há maior quantidade de cargas positivas, disponibilizando o nutriente para culturas com sistema radicular mais profundo. Em regiões áridas, os sulfatos de cálcio, de magnésio, de potássio e de sódio, são as formas predominantes de enxofre inorgânico. Solos argilosos e com teores elevados de óxidos de ferro apresentam alta capacidade de retenção de SO_4^{-2} , tornando a sua movimentação no perfil mais lenta, comparativamente a solos com menor quantidade desses grupos funcionais. Em solos arenosos ou poucos intemperizados, o SO_4^{-2} tende a deslocar-se mais rapidamente para os horizontes subsuperficiais, ou mesmo, sair do sistema solo por lixiviação.

Ao contrário do que acontece com os cátions Ca^{+2} e Mg^{+2} , que ficam mais retidos na camada arável do solo, o SO_4^{-2} enfrenta dificuldade da sua permanência na camada superficial do solo. Isto se deve a presença de teores maiores de matéria orgânica, que reduzem a

adsorção por óxidos e aumentam a carga negativa do solo, portanto repelindo sulfatos, bem como a calagem que aumenta o número de cargas negativas do complexo de troca do solo, o que resultou em maior repulsão dos íons sulfato e seu deslocamento no perfil. O uso de alta adubação com fosfatos fazem com que estes, ocupam preferencialmente as posições de troca que seriam ocupados por sulfatos. De modo contrário, os menores teores de matéria orgânica nas camadas profundas (20-40 cm), aliados aos maiores teores de óxidos de ferro encontrados nos latossolos, podem resultar em predomínio de cargas positivas e favorecerem a retenção do ânion sulfato (SALES, 2015).

No Rio Grande do Sul, com o advento do sistema plantio direto, as aplicações de calcário são realizadas na superfície sem incorporação. Todavia, o calcário, cuja mobilidade é baixa, promove a dessorção dos nutrientes aniônicos, entre eles o enxofre, na camada superficial (OSÓRIO FILHO, 2006). De imediato, ocorre o aumento da disponibilidade destes elementos para as plantas. Porém, a infiltração de água promove a movimentação do enxofre mineral ($S-SO_4^{-2}$) para as camadas subsuperficiais, reduzindo, portanto, a sua disponibilidade na camada superficial com o tempo.

Desta forma, o teor de enxofre no solo é influenciado pela precipitação pluvial, temperatura, adubação, manejo dos restos culturais e fertilizantes utilizados. Conforme Nogueira e Melo (2003), nos solos há muitos anos sob cultivo, com uso de formulações de fertilizantes desprovidos de S, podem apresentar baixa disponibilidade desse nutriente. Isso pode resultar em sintomas de deficiência nas culturas, acarretando queda de produtividade, principalmente em solos pobres nesse nutriente e com baixos teores de matéria orgânica.

2.5 Resposta a Adubação com Enxofre

Segundo Sfredo e Lantmann (2007), a frequência em ocorrer deficiências de enxofre nos solos cultivados é crescente. Existem vários fatores que contribuem para isso, destacando o aumento na produção das culturas que removem grandes quantidades de enxofre e o aumento no uso de fertilizantes de alta concentração que contém pouco ou nenhum enxofre adicional. Os autores mencionam também o menor uso de pesticidas contendo enxofre e a imobilização de enxofre na matéria orgânica que é acumulada em decorrência das práticas conservacionistas (plantio direto e cultivo mínimo). Sales (2015), concorda com as razões acima expostas e acrescentam a redução nas quantidades de S atmosférico providas da chuva

e a redução das reservas de S do solo com as perdas de matéria orgânica devido à mineralização e à erosão.

Nesse sentido, o enxofre é, provavelmente, o macronutriente menos empregado nas adubações. No entanto, muitas culturas importantes exigem-no em quantidades maiores ou iguais às de fósforo (MELLO et al., 1984).

De uma maneira geral, existem poucos estudos sobre a resposta das plantas ao enxofre (OSÓRIO FILHO, 2006). Nesse sentido existe a necessidade de se entender melhor a dinâmica do enxofre no solo e a resposta das culturas a esse nutriente. O enxofre ocorre no solo em formas orgânicas e inorgânicas. Embora a maior parte do enxofre do solo esteja na forma orgânica, o ânion SO_4^{-2} é a forma mineral de enxofre predominantemente encontrada no solo e também a principal forma do elemento absorvida pelas plantas (NEPTUNE et al., 1975).

Entretanto, o uso do solo de forma inadequada, resulta em diminuições no teor de matéria orgânica, associado ao uso de corretivos em superfície e fertilizantes concentrados com ausência de enxofre, e às exportações deste elemento pelas colheitas reduzem a disponibilidade de enxofre (OSÓRIO FILHO, 2006). Neste contexto, aumenta-se a probabilidade de resposta das culturas agrícolas à adubação sulfatada, além de tornar áreas deficientes em enxofre (HOROWITZ, 2012).

Necessita-se também esclarecer melhor questões relativas à amostragem de solo para fins de análise de enxofre disponível, à eficácia do método de análise oficialmente utilizado e dar sustentação ao teor crítico adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (OSÓRIO FILHO, 2006). Segundo Cantarella & Montezano (2010), as faixas de interpretação empregadas em várias regiões do Brasil, apresentam certa convergência, indicando que solos com teores acima de 10 mg dm^{-3} tem menor probabilidade de responder a adição de adubos contendo este elemento. A CQFS-RS/SC... (2004) define três faixas de disponibilidade de enxofre: “baixo”, “médio” e “alto”, que correspondem respectivamente a teores de enxofre extraível $\leq 2 \text{ mg dm}^{-3}$, entre $2,1$ e $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$, e $> 5 \text{ mg dm}^{-3}$. Contudo, para as leguminosas, brássicas e liliáceas, é preconizado o teor crítico de 10 mg dm^{-3} . Exceção é observada na calibração feita por Caires et al. (2002) para o Estado do Paraná, em que o teor crítico de enxofre no solo situa-se em torno de 20 a 25 mg dm^{-3} , especialmente em culturas de milho e trigo.

Nesse contexto, a recomendação de fertilizantes sulfatados continua apresentando grande complexidade em função dos inúmeros fatores que controlam a dinâmica do enxofre no solo. Desta maneira, a disponibilidade deste nutriente varia amplamente com as condições de solo, clima e cultivo (TIWARI et al., 1983). A maioria dos solos do Brasil onde se cultiva

soja, ou aqueles que ainda serão incorporados aos processos produtivos com cultivo de culturas anuais, tem alguma deficiência de nutrientes ou desequilíbrio entre eles, que impedem as culturas como a soja, o milho e o trigo, de não render o máximo que seu potencial genético garantiria em condições de alta e equilibrada oferta de nutrientes no solo (SFREDO E LANTMANN, 2007).

Com base num diagnóstico dos teores de enxofre nos solos manejados em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul, utilizando-se de 72.879 análises de solos, considerando o teor crítico de enxofre no solo adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, equivalente a 10 mg dm^{-3} , Silva et al. (2013), afirmam que 67,5% das amostras apresentam probabilidade de respostas a aplicação de fertilizantes contendo enxofre. As reduções dos teores de enxofre nos solos manejados em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul podem estar associadas às sucessivas exportações do nutriente, através das altas produtividades que vem sendo obtidas nos sistemas de produção de grãos, aliado a utilização frequentes de fertilizantes NPK cada vez mais concentrados e com baixos teores de enxofre.

As principais fontes de enxofre utilizadas para suprir o nutriente às plantas são o gesso agrícola, o sulfato de amônio e o superfosfato simples. Nestes fertilizantes, o enxofre encontra-se na forma de S-SO_4^{-2} , prontamente disponível à planta. Nos fertilizantes NPK, o teor de enxofre varia, geralmente, entre 1% e 10%. Nestes fertilizantes, quanto menor for a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, maior a possibilidade de aumento do teor de enxofre nas fórmulas. Fertilizantes com baixa concentração de NPK tendem a conter, em grandes quantidades, como fonte de fósforo, o superfosfato simples, o que aumenta o teor de enxofre. Fórmulas mais concentradas em NPK tendem a conter como fontes de fósforo o monoamônio fosfato (MAP), diamônio fosfato (DAP) e o superfosfato triplo, que têm baixas concentrações de enxofre (STIPP & CASARIN, 2010).

Tem sido apontado o uso de enxofre elementar (S^0) como fertilizante. Numa revisão de literatura, Horowitz (2003), relata que em diversos países, fertilizantes contendo S-elementar vêm sendo utilizados de forma crescente. Estes incluem o S-elementar sob várias formas: puro (como pó), incorporado a fertilizantes granulados, granulado com agentes dispersantes e em suspensões aquosas para aplicação em sistemas de irrigação. No Brasil, a utilização de S-elementar ainda é incipiente, embora algumas empresas comercializem o produto isoladamente ou em misturas fareladas.

Poucas pesquisas sobre o uso do S-elementar como fonte de nutriente às plantas têm sido realizadas no Brasil. Horowitz (2003) demonstrou que 42 amostras de solo de diferentes regiões do Brasil têm capacidade de oxidar S-elementar, porém com variáveis taxas de

oxidação. Além disto, o mesmo autor, trabalhando em casa de vegetação com quatro cultivos consecutivos de milho, comprovou que fontes de S-elementar granuladas com agentes dispersantes (Tiger 90CR e Sulfer 95) tiveram baixa eficiência. O superfosfato triplo ao qual foi incorporado S-elementar na forma de pó apresentou eficiência agrônômica crescente com o decorrer dos cultivos, atingindo índices de eficiência agrônômica (IEA) superiores ao do gesso em pó e ao do superfosfato simples (fonte de S padrão) no terceiro e no quarto cultivo.

Segundo Vitti et al. (2007), o enxofre elementar, quando aplicado ao solo, somente é absorvido pelas plantas depois de sua oxidação a sulfato por meio de reações catalisadas, principalmente, por microrganismos. Para que o S elementar possa se tornar disponível para as plantas ele deve ser oxidado a $S-SO_4^{-2}$ (JANZEN & BETTANY, 1987), que é a forma que as plantas absorvem este nutriente. A oxidação do S elementar é catalisada por enzimas produzidas principalmente por microrganismos do gênero *Thiobacillus* presentes no solo (HOROWITZ & MEURER, 2006). Isto demanda um período de tempo, o que tornou, provavelmente, o S aplicado na forma elementar ainda não totalmente disponível para este cultivo. Na cultura da soja, Sfredo et al. (2003), constataram respostas à aplicação de 25 a 50 kg ha⁻¹ e de 75 a 100 kg ha⁻¹ de S, na forma de S elementar, em solos argilosos do Paraná e do Cerrado, respectivamente.

Em virtude que a distribuição uniforme do S-elementar na forma de pó, a campo, ser difícil, várias empresas buscam desenvolver fertilizantes que na sua formulação apresentam propostas viáveis para atender esta dificuldade operacional. Nesse sentido, se apresenta o Fertilizante Organomineral HUMIMAX S20, que utiliza turfa como veículo da adubação com enxofre elementar, objeto do presente trabalho, na complementação de enxofre para altas produtividades da soja.

É oportuno mencionar que a concepção do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S20 está baseada na hipótese da influencia positiva das substâncias orgânicas presentes na turfa na oxidação do S elementar. Horowitz (2003) relata estudo com 39 solos, onde Janzen & Bettany (1987) observaram significância positiva entre a oxidação e o teor de matéria orgânica do solo. A relação positiva entre a oxidação do S elementar e a matéria orgânica, tem sido atribuída por vários autores (WAINWRIGHT et al., 1986; LAWRENCE & GERMIDA, 1988; CIFUENTES & LINDEMANN, 1993; COWELL & SHOENAU, 1995 e SKIBA & WAINWRIGHT (1984), à resposta de organismos heterotróficos que oxidam o S elementar, utilizando o substrato disponível como fonte de energia.

2.6 A Matéria Orgânica e as Substâncias Húmicas

A matéria orgânica do solo é definida como todos os compostos orgânicos presentes no solo [menos o tecido vegetal (palha) e animal morto e não decomposto], seus produtos parciais em decomposição e a biomassa do solo (AITA et al., 2003), e consiste em resíduos de plantas e de animais em diferentes fases de decomposição (OLIVEIRA, 2001). Segundo Camargo et al. (1999), a matéria orgânica do solo pode ser dividida em dois grupos fundamentais. O primeiro grupo é constituído pelos produtos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano, como proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas e outros. Essas macromoléculas constituem aproximadamente 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais. O segundo é representado pelas substâncias húmicas propriamente ditas, que são humina, ácido húmico e ácido fúlvico, constituindo 85 a 90% da reserva total de C orgânico.

Em solos fortemente intemperizados, a matéria orgânica do solo (MOS) desempenha papel muito importante nas propriedades químicas e físicas do solo (EBELING *et al.*, 2011). Os níveis adequados de MOS são benéficos ao solo pois melhoram as condições físicas, aumentam a retenção de água, diminuem as perdas por erosão e fornecem nutrientes para as plantas (OLIVEIRA, 2001).

Segundo Bayer & Mielniczuk (1999), a principal característica física do solo afetado pela matéria orgânica é a agregação. A partir do seu efeito sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas as demais características físicas do mesmo, como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água, entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo.

Entre as características químicas afetadas pela matéria orgânica, destacam-se a disponibilidade de nutrientes para culturas, a capacidade de troca de cátions e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes (BAYER & MIELNICZUK, 1999). A matéria orgânica é uma fonte fundamental de nutrientes para as plantas, disponibilizando elementos como o N, P e S. No Brasil, particularmente nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, o teor de matéria orgânica do solo é utilizado como critério básico para as recomendações de nitrogênio para culturas (CQFS-RS/SC, 2004).

Um número crescente de experiências de campo vem demonstrando os benefícios do uso dos ácidos húmicos na agricultura intensiva (BORSARI, 2013). Os resultados induzem a concluir que estes ácidos aumentam a absorção de nutrientes, melhoram a estrutura do solo, com efeitos diretos na produção, produtividade e qualidade de diversos cultivos. Para Borsari (2013), uma série de outros benefícios foram encontrados e publicados por pesquisadores do Brasil e do mundo.

Dentro deste contexto, vários estudos mostram que os produtos à base de substâncias húmicas estimulam a absorção mineral das plantas, o desenvolvimento radicular, os processos metabólicos, a atividade respiratória e o crescimento celular (RUSSO & BERLYN, 1990; SANDERS et al., 1990). Segundo Primo et al. (2011), as substâncias húmicas exercem influência amplamente reconhecida nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, no crescimento das plantas. A utilização ácido húmico em baixas concentrações, propicia a máxima produção de matéria seca de raiz, caule, folha e total. Adicionalmente, as substâncias húmicas melhoram a estrutura do solo, aumentam a produtividade e a qualidade dos cultivos, disponibilizam fósforo adsorvido na fração argila, aumentam a superfície específica, a CTC e o efeito tampão, dando maior estabilidade ao solo e atuam como reservatório de N, P, S e micronutrientes.

O crescimento da adoção de produtos contendo substâncias húmicas, como fertilizantes orgânicos, organominerais, condicionadores de solo e estimuladores fisiológicos tem sido grande nas últimas décadas em todo o mundo e mais recentemente no Brasil (BORSARI, 2013). Apesar de muitos resultados mostrarem efeitos favoráveis do uso destes produtos nas plantas, há trabalhos indicando que as respostas às suas aplicações podem depender de outros fatores, tais como da espécie da planta e da composição das substâncias húmicas presentes nos produtos usados (CSIZINSZKY, 1990; COOPER et al., 1998; DELFINE et al., 2005).

2.6.1 Turfa

A turfa é geralmente definida como qualquer matéria vegetal parcialmente decomposta, acumulada em ambiente subaquático. Além do uso consagrado da turfa como fonte energética, observa-se nos últimos anos o incremento de sua utilização na agricultura,

como insumo para produção de condicionadores de solos, biofertilizantes, substratos de mudas ou aplicação “in natura” no solo (OLIVEIRA, 2001).

A turfa representa o estágio inicial da formação de carvão (Figura 1), originando-se da acumulação de matéria vegetal composta de musgos, plantas aquáticas diversas, material lenhoso, arbustos e líquens. A turfa in situ contém, em geral, 90% ou mais de água; quando recolhida e seca ao ar, esse teor baixa para valores médios próximos de 40% (MORAES, 2001).

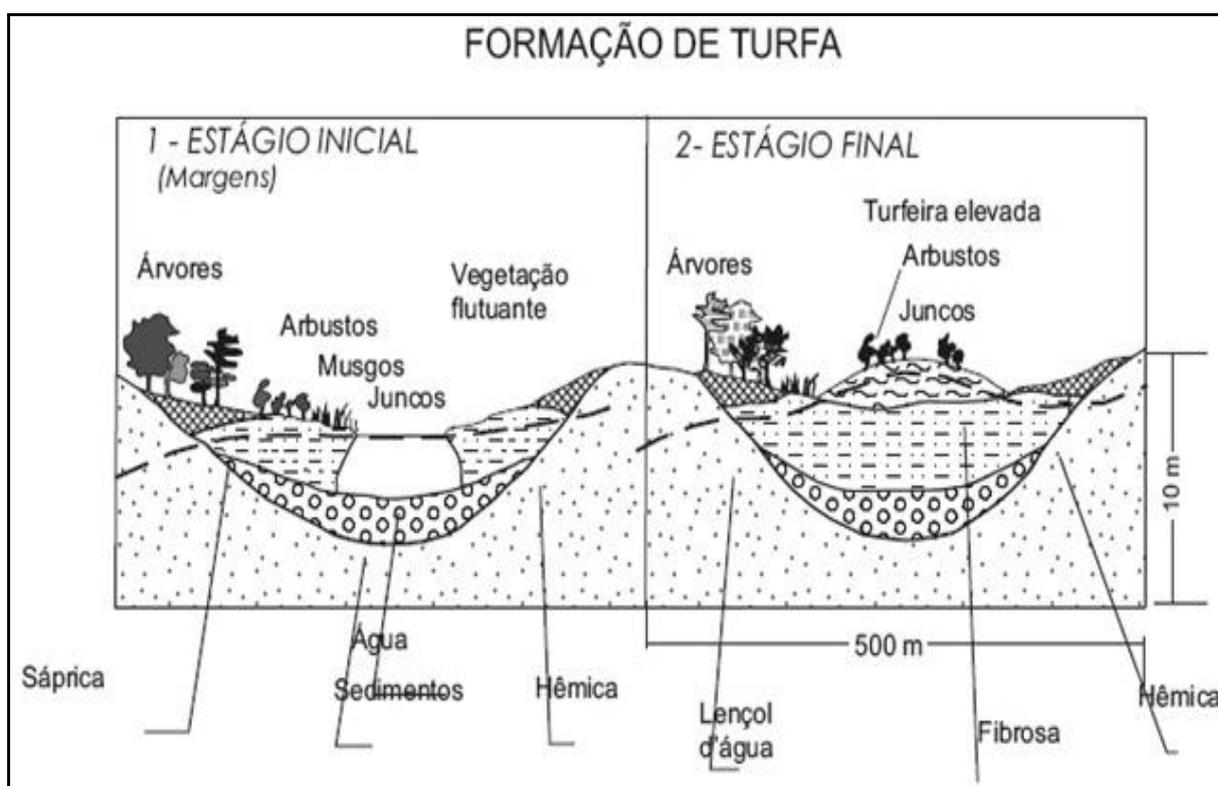


Figura 1. Formação de turfás. Fonte: Germani (2015).

Conforme Franchi et al. (2003), a turfa é uma substância fóssil, orgânica e mineral, originada da decomposição de restos vegetais, encontrada em áreas alagadiças como várzeas de rios, planícies costeiras e regiões lacustres. A conversão da matéria vegetal em turfa é um processo cuja continuação, por alterações diagenéticas ou metamórficas, conduz à formação de linhito, carvão e antracito. As turfás são normalmente classificadas segundo seu grau de decomposição. A definição varia conforme a instituição e o país, mas é consensual aceitar-se como sendo um material contendo 25% ou menos de massa inorgânica (ou teor em “cinzas”), referível à base seca (ANDREJKO et al. 1983).

A turfa, por ser o material mais decomposto, próximo ao húmus, faz com que ela seja mais ativa do que outras principais matérias orgânicas. Rico em ácidos húmicos e fúlvicos. Sua

composição é definida como substâncias húmicas (Ácido Húmico, Ácido Fúlvico e Humina) e substâncias não-húmicas. As substâncias húmicas possuem estrutura química não bem definida, sabe-se que possuem sítios de adsorção compostos por grupos ácidos carboxílicos, cetona, hidroxilas fenólicas e alcoólicas. Já as substâncias não-húmicas é composta por estruturas bem definidas, como lignina, proteínas, etc. Por conter em sua estrutura estes grupos funcionais, é utilizada como adsorvente de vários metais pesados presentes em ambientes aquáticos e em solos, onde complexam esses metais, contribuindo para o equilíbrio do meio ambiente.

As substâncias húmicas são reconhecidas como principal componente da matéria orgânica, influenciando as propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos. A adição destes compostos no solo pode estimular o crescimento das plantas, porém os humatos comerciais não parecem conter quantidades suficientes das substâncias necessárias para produzir os efeitos benéficos anunciados.

Segundo Silva et al. (2009) turfeiras são definidas por Pontevedra-Pombal & Martinez-Cortizas (2004)¹ como um ecossistema úmido, composto principalmente por plantas higrófilas que, ao crescerem e sucederem-se no tempo e no espaço, acumulam grande quantidade de matéria vegetal morta. As turfeiras são habitats de escassa representação em nível mundial, ocupando cerca de 420 milhões de hectares, dos quais cerca de dois terços se localizam na Rússia e Canadá. Considerando uma espessura média de 2 m, acumulam 455 bilhões de toneladas de carbono orgânico. Nos ambientes tropicais as turfeiras são menos comuns. Ocupam pouco mais de 0,1 % do território brasileiro (SILVA et al., 2009).

No Brasil (Figura 2), importantes recursos desse mineral foram delimitados no litoral nordeste (ao norte do litoral baiano, no litoral cearense e na costa setentrional do Rio Grande do Norte), no litoral sudeste (nas planícies costeiras do Espírito Santo e Rio de Janeiro) e no litoral Sul. Fora da região litorânea, ocorrem também importantes turfeiras como no vale do Rio Paraíba do Sul, em Minas Gerais, sudoeste da Bahia, Goiás, etc. Essa ampla distribuição das turfeiras em território nacional, algumas estrategicamente colocadas em regiões carentes de outras fontes alternativas de energia, pode representar uma grande saída para pequenos e médios consumidores (FREITAS E SOUZA JUNIOR, 2015).

¹ PONTEVEDRA-POMBAL, X. & MARTINEZ CORTIZAS, A. Turberas de Galicia: Processos formativos, distribución y valor medioambiental el caso particular de las "Serras Septentrionais". *Chioglossa*, 2:103-21, 2004

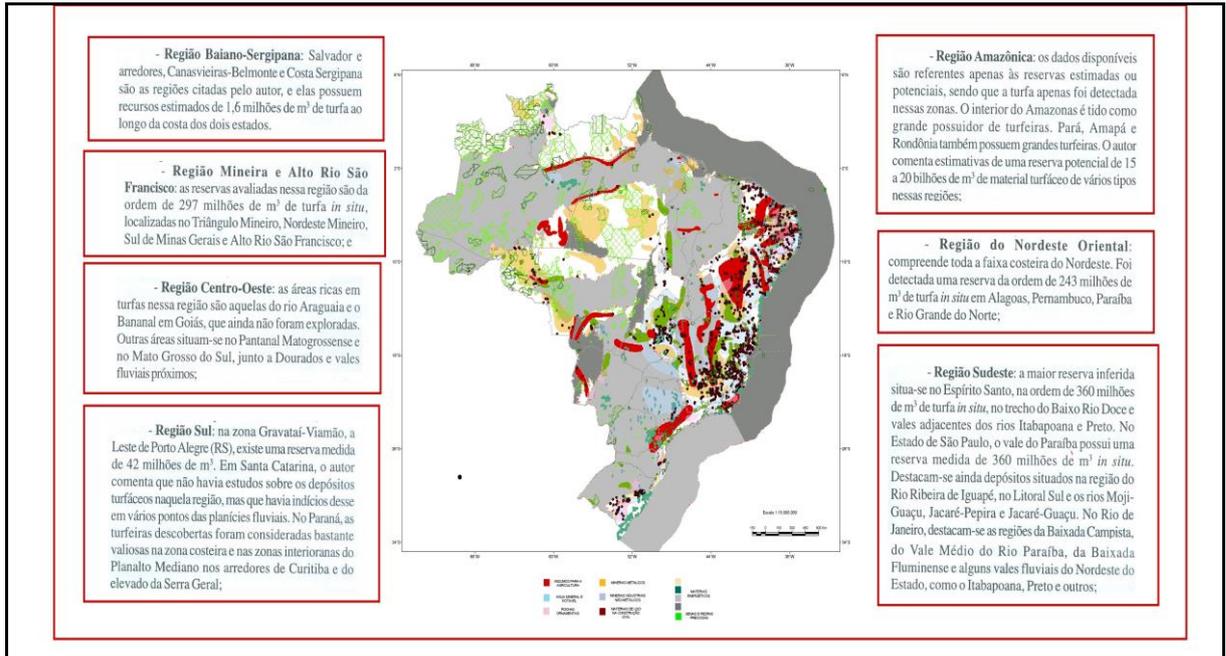


Figura 2. Mapa da localização das turfeiras no Brasil. Adaptado de Freitas e Souza Junior (2015) e Silva et al. (2015)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e Solo

O trabalho foi conduzido no ano agrícola de 2014/2015, em uma área de lavoura manejada no sistema plantio direto, localizada no Distrito de Restinga Seca, Município de Santo Ângelo, RS. As coordenadas do local do estudo são Latitude 28° 14' 31,92''S e longitude 54°20' 18,07'' W e altitude de 337 metros e está situado na Mesorregião 5, Noroeste Rio-Grandense (Figura 3A) e Missões, de acordo com o mapa de regionalização do COREDEs (Conselhos Regionais de Desenvolvimento) do Rio Grande do Sul (Figura 3B). Uma ilustração da localização da área experimental é apresentada na Figura 4.

A lavoura em que foi conduzida a pesquisa possui uma área de 55,00 ha, manejada com ferramentas de agricultura de precisão, em que seu histórico de fertilidade, apresentava, em todos os pontos amostrais, teores de enxofre no solo abaixo do teor crítico do nutriente, adotado para o RS e SC, equivalente a 10 mg dm⁻³ (CQFS-NRS, 2004).

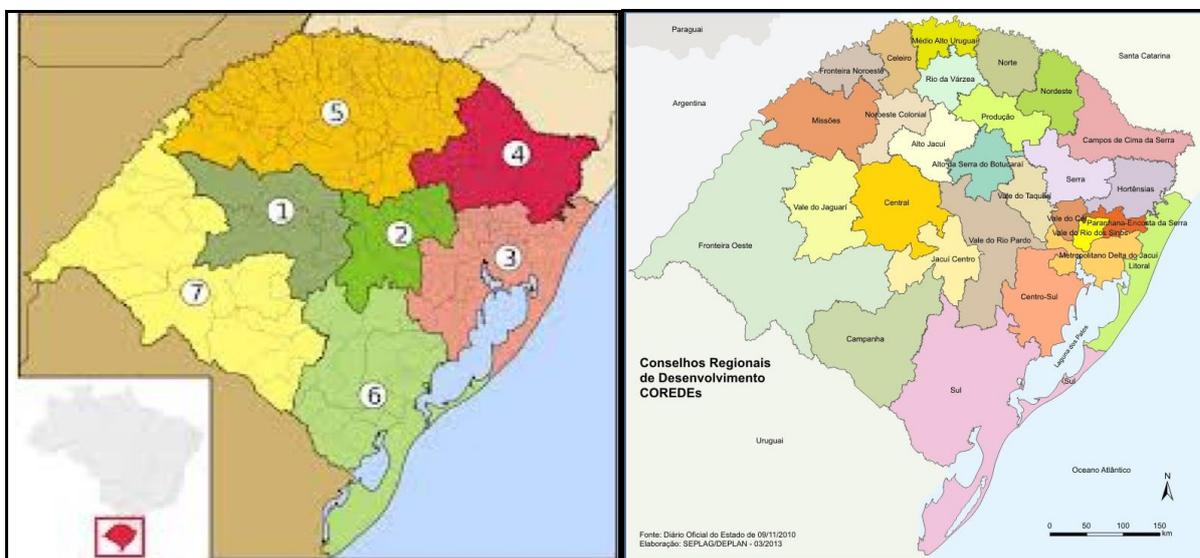


Figura 3. (A) Localização das mesorregiões do Rio Grande do Sul (Adaptado de Castello, 2015) (B) Mapa de regionalização do COREDEs do Rio Grande do Sul (FEE, 2015).

O clima dominante é do tipo Cfa 1 da Classificação de Koeppen (MORENO, 1961). A temperatura média anual é de 18°C e a precipitação normal é de 1700 mm, apresentando períodos de deficiência hídrica durante o verão. A precipitação pluviométrica diária e acumulada no período experimental da pesquisa com Fertilizante Organomineral HUMIMAX S20 é apresentada na Figura 5.

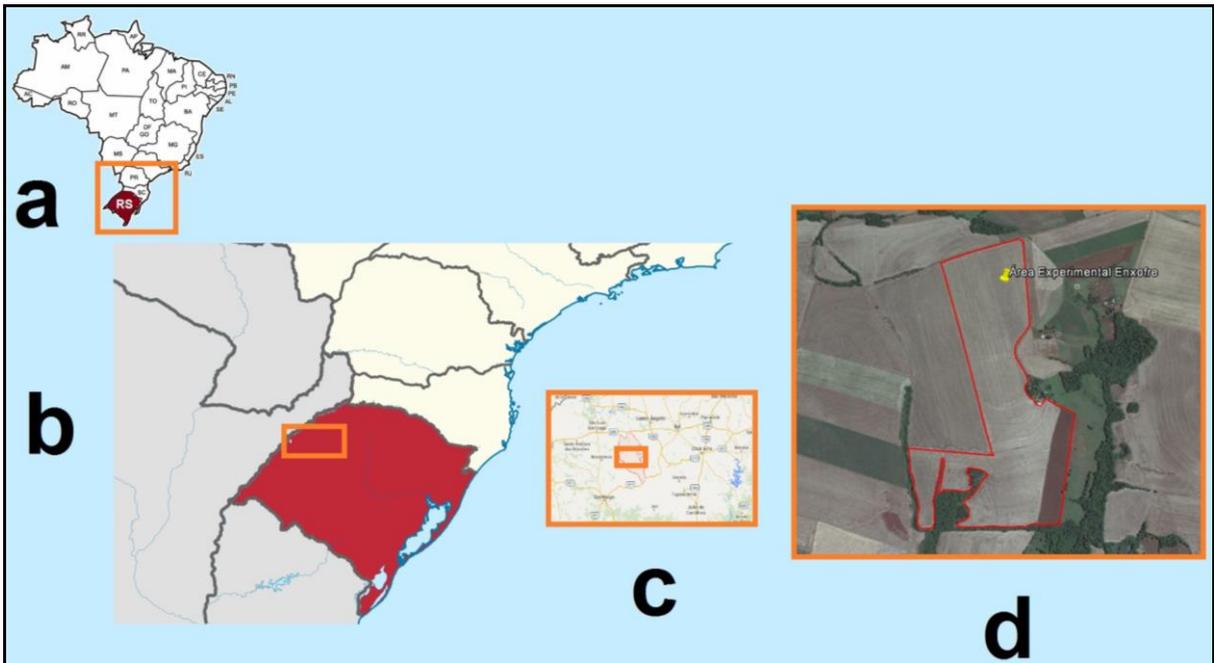


Figura 4. Localização da área experimental situada no Distrito de Restinga Seca, Município de Santo Ângelo (RS) e coordenadas de Latitude $28^{\circ} 14' 31,92''$ S e longitude $54^{\circ} 20' 18,07''$ W.

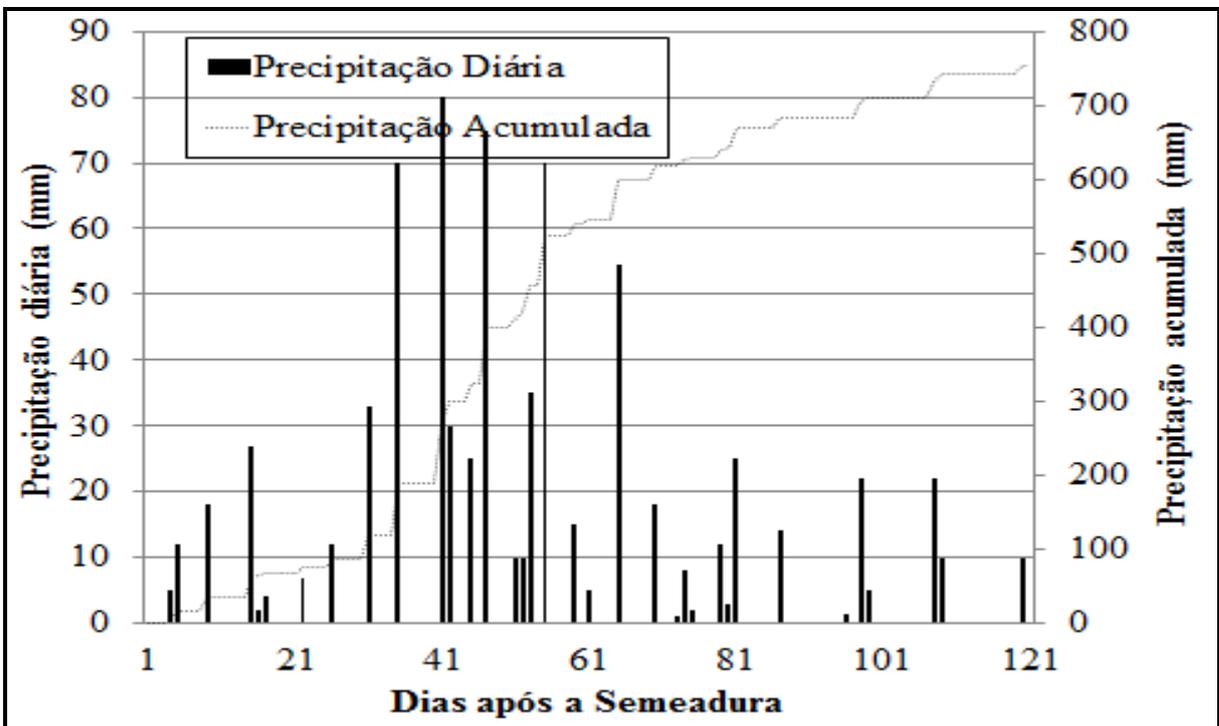


Figura 5. Precipitação pluviométrica diária e acumulada no período experimental da pesquisa com Fertilizante Organomineral HUMIMAX S20. UNICRUZ, Santo Ângelo, RS, 2015.

O solo do local é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico com textura argilosa (EMBRAPA, 2013a), pertencente à Unidade de Mapeamento Santo Ângelo (BRASIL, 1973). As características químicas nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade, para a caracterização da condição inicial da área experimental, são apresentadas na Tabela 2. As amostragens foram realizadas com a ferramenta pá de corte de acordo com as recomendações. (CQFS-RS/SC..., 2004).

Tabela 2. Características químicas nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm, na condição inicial da área experimental. Santo Ângelo, RS. 2014.

Camada	Argila	pH	Índice	Fósforo	Potássio	MO ¹	Alumínio	Cálcio	Magnésio	CTC ²	Enxofre
Cm	%	H ₂ O	SMP	... mg dm ⁻³ mg dm ⁻³ ...	% cmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³			
0 a 20	51	5,6	6,1	13,0	140	2,2	0,0	6,4	2,2	12,9	5,5
20 a 40	63	5,4	6,0	2,4	21	1,4	0,2	3,9	1,5	10,0	7,0

¹ Matéria Orgânica; ² Capacidade Troca Cátions.

3.2 Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos de quatro diferentes doses do fertilizante HUMIMAX S 20, que são:

T1. Testemunha (sem produto): 0 kg ha⁻¹

T2. Fertilizante HUMIMAX S 20: 80 kg ha⁻¹ (16 kg ha⁻¹ de enxofre elementar)

T3. Fertilizante HUMIMAX S 20: 120 kg ha⁻¹ (24 kg ha⁻¹ de enxofre elementar)

T4. Fertilizante HUMIMAX S 20: 200 kg ha⁻¹ (40 kg ha⁻¹ de enxofre elementar)

O Fertilizante HUMIMAX é um produto de marca registrada da Sulphurtec Agroindustrial de Orlandia (SP), Fertilizantes Organomineral Classe A, concentrado em substâncias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas). É produzido a partir de turfa extraída da jazida localizada em localizada em São Simão (SP), com enriquecimento de enxofre elementar.

Apresenta-se na formulação granulada e encontra-se registrado no MAPA sob N° EP SP 80020-1. Na sua composição possui as seguintes garantias: Carbono Orgânico: 13,5%, Enxofre Elementar: 20%. Uma ilustração da formulação granulada e da embalagem comercial do produto é apresentada na Figura 6.

A dose de Fertilizante HUMIMAX S 20 foi definida objetivando atender a adubação

de manutenção com enxofre para a cultura da soja, equivalente a 10 kg de S para cada 1000 kg de produção de grãos esperada, com base em proposta apresentada por Sfredo et al. (2003) e descrita em Embrapa (2013). Neste caso a dose máxima de 40 kg ha⁻¹ de enxofre elementar atende a expectativa de produtividade de 4,0 T ha⁻¹ de grãos de soja.

O Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 foi aplicado no sulco de semeadura, misturado ao fertilizante de base na cultura da soja, nas proporções descritas nos tratamentos.



Figura 6. Ilustração da formulação granulada e da embalagem comercial do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S20%. UNICRUZ, Santo Ângelo, RS, 2015.

3.3 Instalação e Condução do Experimento

A área foi utilizada com a cultura do trigo no período de inverno de 2014. Imediatamente antes da semeadura da soja, a área foi dessecada utilizando-se o herbicida Glyphosate na dose de 3,0 L ha⁻¹ do produto comercial.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 4 repetições. As parcelas foram constituídas de quatro fileiras espaçadas de 0,50 m e 5,0 m de comprimento (10,0 m²). A semeadura da soja foi realizada em 18 de novembro de 2014. Foi utilizado a cultivar Syngenta V TOP, com densidade final de 6 plantas/m linear e espaçamento de 0,50 m entre linhas. Na adubação de base foram utilizados 300 kg ha⁻¹ da fórmula 02-23-23 na linha de semeadura. Utilizou-se inoculante líquido, 1 dose de 100 mL por 40 kg de semente, de forma igual em todos os tratamentos. Para o tratamento de sementes com inseticida e

fungicida, utilizou-se Standack Top (Piraclostrobina + Tiofanato Metflicon + Fipronil) na dose de 200 mL 100 kg⁻¹ semente.

O controle de plantas daninhas foi realizado aos 30 e 45 dias após a emergência, utilizando-se o herbicida Glyphosate na dose de 960 g i.a.ha⁻¹ (2,0 l ha⁻¹ do produto Roundup Original). No controle de pragas foram utilizadas 3 aplicações do inseticida Connect SC (Imidacloprido + beta-ciflutrina), na dose de 1,0 L ha⁻¹ de produto comercial. O controle de doenças na parte aérea foi realizado utilizando-se de 04 aplicações na sequência dos fungicidas Aproach Prima (Ciproconazol + Picoxistrobina) misturado com Carbendazim 250 + Nimbus (0,5 L ha⁻¹), Fox (Trifloxistrobina+Protioconazol) + Aureo (0,5%), Elatus (Azoxistrobina + Benzovindiflupyr) + Nimbus (0,5 L ha⁻¹) e Fox (Trifloxistrobina+Protioconazol) + Aureo (0,5%), nas doses de 300mL+500mL, 400mL, 200g e 400 mL ha⁻¹ do produto comercial, respectivamente. Na aplicação dos produtos fitossanitários via foliar foi utilizado pulverizador costal, com um volume de calda de 100 L ha⁻¹.

Os demais tratamentos culturais foram realizados segundo as Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2014/2015 e 2015/2016 (REUNIÃO..., 2014), respeitando as condições descritas nos tratamentos.

3.4 Avaliações e Análise Estatística

A produtividade de grãos da cultura de soja foi realizada colhendo-se a área útil de cada parcela, correspondente a 2 linhas de 4 metros de comprimento e espaçadas de 0,5 metros entre si (área=4,0 m²).

Para a caracterização do efeito residual dos tratamentos, sobre os teores de enxofre extraível no solo, após a colheita da soja, o solo foi amostrado, obtendo uma amostra composta por tratamento, nas camadas 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade. A amostragem foi realizada com pá de corte, a partir de trincheira aberta transversalmente em relação à linha de semeadura, do centro de uma entre-linha ao centro da outra. Os teores de enxofre extraível do solo foram determinados segundo metodologia proposta pela CQFS-RS/SC... (2004) descrita por Tedesco et al. (1995) através da extração de enxofre com utilização de solução de Ca (H₂PO₄) 500 mg L⁻¹ de P, seguida da determinação por turbidimetria com cloreto de bário, após a digestão do extrato com ácido perclórico.

Os resultados foram submetidos à análise da variância e quando os valores de F (Tratamento) foram significativos ao nível de 5 % de probabilidade, submeteu-se ao Teste de DUNCAN ($p < 0,05$) e análise de regressão (fator doses), determinando modelo de melhor ajuste, através do pacote estatístico ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de produtividade de grãos em resposta doses do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 na cultura da soja são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Produtividade de grãos em resposta doses do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 na cultura da soja. UNICRUZ. Cruz Alta, RS. 2015.

Doses de Humimax 20%	Produtividade de Grãos de Soja	
	kg ha ⁻¹	%
T1. Testemunha (sem produto): 0 kg ha ¹	3974,9 b	100,0
T2. Fertilizante HUMIMAX S 20: 80 kg ha ¹	3992,5 b	100,4
T3. Fertilizante HUMIMAX S 20: 120 kg ha ¹	4521,9 a	113,8
T4. Fertilizante HUMIMAX S 20: 200 kg ha ¹	4691,8 a	118,0
Média	4295,3	
F Tratamento	23,93 *	
Coeficiente de Variação (%)	4,57	

* – significativo ao nível de 5 % de probabilidade

Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente pelo Teste de DUNCAN (P<0,05)

A produtividade média de grãos de soja foi de 4294 kg ha⁻¹, considerada ótima para as condições do ano agrícola. Observa-se que houve efeito significativo dos tratamentos na produtividade de grãos de soja.

Observa-se que houve resposta significativa na produtividade de grãos de soja pela utilização do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 aplicado na linha de semeadura em mistura ao NPK. A utilização do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 aplicado nas doses de 120 e 200 kg ha⁻¹ na linha de semeadura em mistura ao NPK, evidenciaram ganhos de 547 e 717 kg ha⁻¹, equivalente a 13,8% e 18,0% em relação à Testemunha (T1. sem produto), respectivamente.

Considerando o ajuste da curva de resposta, o comportamento das doses de Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 misturado ao NPK na linha de semeadura sobre a produtividade de grãos de soja (Figura 7) foi linear ($R^2 = 0,8914$), indicando ganhos em produtividade até as maiores doses avaliadas.

A resposta do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 provavelmente tem sido pelos efeitos conjunto da aplicação de enxofre e das substâncias húmicas presentes na turfa,

que é utilizada como veículo da adubação com enxofre elementar. A resposta de enxofre é fundamentada pelos teores do nutriente encontrado no solo da área experimental, que se encontram abaixo do teor crítico de enxofre no solo adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, equivalente a 10 mg dm^{-3} . Isto tem sido uma realidade em 67% das lavouras manejadas em produção de grãos do RS (SILVA et al., 2013), teores nos quais existem probabilidade de respostas a aplicação de fertilizantes contendo enxofre (CANTARELLA & MONTEZANO, 2010).

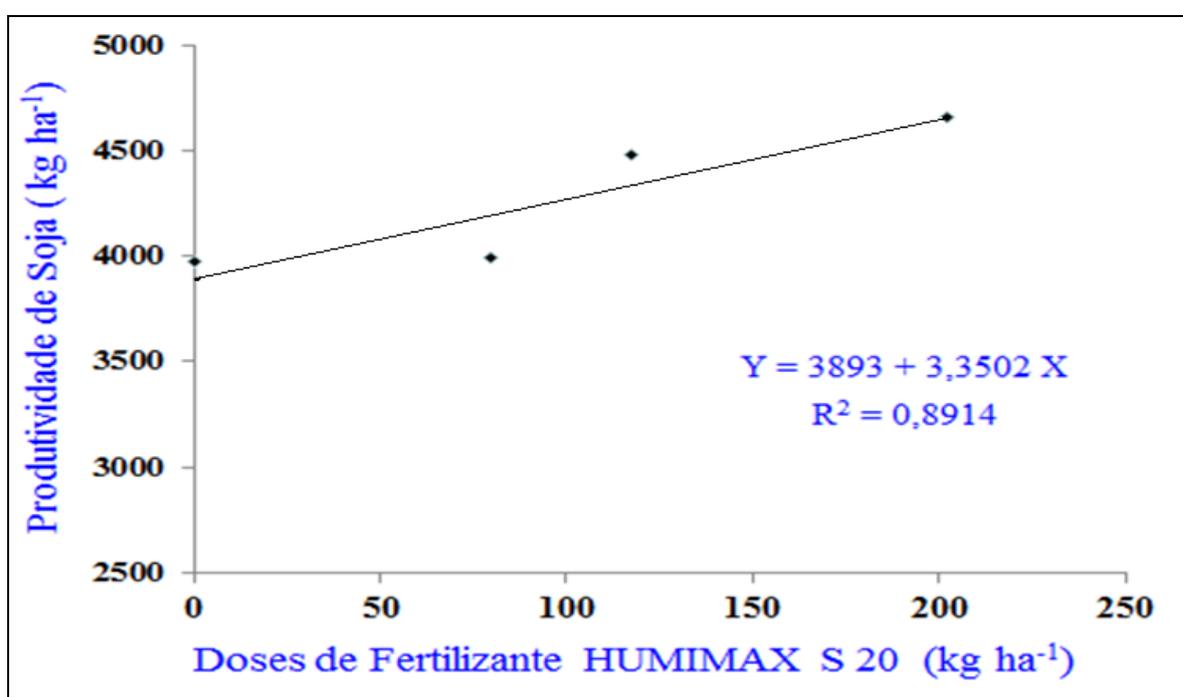


Figura 7. Comportamento da produtividade de grãos de soja em resposta à doses do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 na cultura da soja. UNICRUZ, Cruz Alta, RS. 2015.

Na cultura da soja, Sfredo et al. (2003), constataram respostas à aplicação de 25 a 50 kg ha^{-1} e de 75 a 100 kg ha^{-1} de S, na forma de S elementar, em solos argilosos do Paraná e do Cerrado, respectivamente. A concepção do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S20, se baseia na hipótese da influência positiva das substâncias orgânicas presentes na turfa na oxidação do S elementar. Horowitz (2003) relata estudo com 39 solos, onde Janzen & Bettany (1987) observaram significância positiva entre a oxidação e o teor de matéria orgânica do solo. A relação positiva entre a oxidação do S elementar e a matéria orgânica, tem sido atribuída por vários autores (WAINWRIGHT et al., 1986; LAWRENCE & GERMIDA, 1988; CIFUENTES & LINDEMANN, 1993; COWELL & SHOENAU, 1995 e SKIBA &

WAINWRIGHT (1984), à resposta de organismos heterotróficos que oxidam o S elementar, utilizando o substrato disponível como fonte de energia.

Aliado a isto, é provável que nem todo o enxofre elementar aplicado via Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 tenha sido disponibilizado para este cultivo, pois a oxidação do S elementar que é catalisada por enzimas produzidas principalmente por microrganismos do gênero *Thiobacillus* presentes no solo (HOROWITZ & MEURER, 2006), demanda um período de tempo. Segundo Vitti et al. (2007), o enxofre elementar, quando aplicado ao solo, somente é absorvido pelas plantas depois de sua oxidação a sulfato, tornando disponível para as plantas (JANZEN & BETTANY, 1987).

O efeito das substâncias húmicas presentes no Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20, provavelmente tenham contribuído para a resposta em produtividade de grãos. De forma semelhante, várias experiências de campo vêm demonstrando os benefícios do uso dos ácidos húmicos na agricultura intensiva (BORSARI, 2013). Os estudos com substâncias húmicas na agricultura induzem a acreditar que estes ácidos aumentam a absorção de nutrientes, melhoram a estrutura do solo, com efeitos diretos na produção, produtividade e qualidade de diversos cultivos. Para Primo et al. (2011), a utilização do material húmico, em baixas concentrações de C-ácido húmico (0,07-4,3 mg L⁻¹), promoveram aumento na produção de matéria seca de raiz, caule, folha e total. Os autores mencionam que as substâncias húmica exercem influência nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, no crescimento das plantas.

Apesar de muitos resultados mostrarem efeitos favoráveis do uso destes produtos nas plantas, há trabalhos indicando que as respostas às suas aplicações podem depender de outros fatores, tais como da espécie da planta e da composição das substâncias húmicas presentes nos produtos usados (CSIZINSZKY, 1990; COOPER et al., 1998; DELFINE et al., 2005).

O efeito residual dos tratamentos, sobre os teores de enxofre extraível no solo, amostrado após a colheita da soja, são apresentados na Tabela 4. Observa-se que os teores de enxofre extraível no solo, embora apresentassem uma tendência de superioridade com os incrementos de doses do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20, as diferenças são pequenas para afirmar o incremento de enxofre no solo. Isto pode estar aliado alta demanda por enxofre pela cultura da soja. Considerando a quantidade absorvida (palha+grãos) pela cultura da soja é de 15,4 kg de enxofre por tonelada de soja produzida (EMBRAPA, 2013b). Dentre as espécies cultivadas, a soja é a maior exportadora de enxofre da agricultura brasileira (SALES, 2015; YAMADA & LOPES, 1998), requerendo cerca de 8,2 kg de enxofre para cada tonelada produzida.

Tabela 4. Teores de enxofre extraível no solo, após a colheita da soja na camada 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade em resposta doses do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 na cultura da soja. UNICRUZ. Cruz Alta, RS. 2015.

Doses de HUMIMAX 20	Camada 0 a 20 cm	Camada 20 a 40 cm
	mg dm ⁻³	
T1. Testemunha (sem produto): 0 kg ha ⁻¹	5,5	7,0
T2. Fertilizante HUMIMAX S 20: 80 kg ha ⁻¹	6,2	8,0
T3. Fertilizante HUMIMAX S 20: 120 kg ha ⁻¹	6,4	7,7
T4. Fertilizante HUMIMAX S 20: 200 kg ha ⁻¹	7,0	9,0

5 CONCLUSÕES

- Houve resposta significativa pela utilização do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 misturado ao NPK na linha de semeadura sobre a produtividade de grãos de soja
- Os incrementos nos teores de enxofre no solo pela utilização do Fertilizante Organomineral HUMIMAX S 20 foram pequenos, provavelmente atribuídos, a alta exportação de enxofre pela cultura da soja comparado à quantidade adicionada do nutriente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.; HÜBNER, A.P.; ANTONIOLLI, Z.I. & FRIES, M.R. **Microbiologia agrícola: aulas teóricas**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 121p. (apostila didática)

ALVAREZ V.V.H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C.H.; PEREIRA, N.F. **Enxofre**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.B.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.) *Fertilidade do Solo*. Viçosa:SBCS, 2007. P.595-644.

ANDREJKO M.J., FIENE F., COHEN A.D. Comparison of ashing techniques for determination of the inorganic content of peats. In: Jarrett, P. M. ed. *Testing of Peats and Organic Soils*. ASTM, Philadelphia, pp.: 5-20. 1983. (ASTM Special Technical Publication, 820)

APROSOJAMS. Embarque de soja poderá recuar US\$ 7,3 bi em 2015. Disponível em: [http://aprosojams.org.br/verNoticia?id=3985&tit=Embarque-de-soja-poder%C3%A1-recuar-US\\$-7,3-bi-em-2015.html](http://aprosojams.org.br/verNoticia?id=3985&tit=Embarque-de-soja-poder%C3%A1-recuar-US$-7,3-bi-em-2015.html). Acesso em: 01 Out. 2015.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability a mechanistic approach**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 398p.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.9-26.

BORKERT, C.M.; YORINORI; J.T.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; ALMEIDA, A.M. R.; FERREIRA, L.P.; SFREDO, G.J. Seja o doutor da sua soja. **Informações Agrônômicas**, n. 66, p. 1994.

BORSARI, F. Substâncias húmicas. Experiências de campo demonstram os benefícios para a produtividade do uso de ácidos húmicos na agricultura intensiva. **Agro DBO**, julho, p.44, 2013.

BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Rio Grande do Sul**. Recife. 431p. (Boletim Técnico, 30)

CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A. & GUERRA, J.G.M. **Macromoléculas e substâncias húmicas**. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.27-39.

CASTELLO, F. A. O Rio Grande do Sul é dividido em 7 mesorregiões, 35 microrregiões e 496 municípios. Disponível em: <http://fernando-aires.blogspot.com.br/2010/10/rio-grande-do-sul-uma-nacao-dentro-de.html>. Acesso em: 3 Dez. 2105.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.357-364, 2002.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z.F. **Nitrogênio e enxofre**. Em: PROCHNOW, L.I.; STIPP, S.R. (Org.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. 1ed. Piracicaba. : IPNI. 2010. v.2, p.1-65.

CQFS-RS/SC - Comissão de química e fertilidade do solo RS/SC - **Manual de adubação e de calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2004. 400 p.

CAVALETT, O. **Análise do Ciclo de Vida da Soja**. Tese apresentada à comissão examinadora como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos pela Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. 2008, 245 p.

CIFUENTES, F.R.; LINDEMANN, W.C. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, p.727-731, 1993.

COOPER, R.J.; LIU, C.; FISCHER, D.S. Influence of humic substances on rooting and nutrient content of creeping bentgrass. **Crop Science**, Madison, v.38, p.1639-1644, 1998.

CSIZINSZKY, A.A. Response of two peppers (*Capsicum annum* L.) cultivars to foliar and soil-applied biostimulants. **Soil and Crop Science Society Florida Proceedings**, The Hague, v.49, p.199-203, 1990.

COWELL, L.E.; SCHOENAU, J.J. Stimulation of elemental sulphur oxidation by sewage sludge. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.75, p.247-249, 1995.

DELFINE, S.; TOGNETTI, R.; DESIDERIO, E.; ALVINO, A. Effects of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. **Agronomy for Sustainable Development**, Versailles, v.25, p.183-191, 2005.

DUKE, S.H.; REISENAUER, H.M.. **Roles and requirements of sulfur in plant nutrition**. In: **SULFUR in agriculture**. Madison : ASA : CSSA : SSSA, 1986 . p. 123-168. (Agronomy monography, 27).

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C. (2 *); PEREIRA, M. G.; PINHEIRO, E. F. M.; VALLADARES, G. S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p.157-165, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo** – 3 ed. Brasília, DF: EMBRAPA 2013, 353 p.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p

FEE - Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. O **PERFIL SOCIOECONÔMICO RS – COREDES**. Acesso ... <http://www.fee.rs.gov.br/perfil-socioeconomico/coredes/>

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stage of soybean development**. Iowa State University. Special report 80, March, 1977. p. 25-26p.

FRANCHI, J. G.; SÍGOLO, J. B.; LIMA, J. R. B. Turfa utilizada na recuperação ambiental de áreas mineradas: metodologia para avaliação laboratorial. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n.3, p. 255-262, 2003.

FREITAS, J. O.; SOUZA JUNIOR, L. C. **Situação geográfica das principais reservas e recursos de combustíveis fósseis sólidos no Brasil**. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/viewFile/12686/11846>. Acesso em: 03 Dez. 2015

FRENEY, J.R. **Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils**. In: **SULFUR in agriculture**. Madison: ASA : CSSA : SSSA, 1986. p. 207-232. (Agronomy monography, 27).

GERMANI, D. J. Carvão brasileiro - produção e potencialidade. Disponível em: <http://www.inthemine.com.br/mineblog/?p=463> Acesso em: 30 set. 2015

IPNI. **Como a Planta de Soja se Desenvolve**. Disponível em: [http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/9EB3E1289BF2532B83257AA0003BF72A/\\$FILE/Como%20a%20Planta%20da%20Soja%20Desenvolve.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/9EB3E1289BF2532B83257AA0003BF72A/$FILE/Como%20a%20Planta%20da%20Soja%20Desenvolve.pdf). Acesso em: 17 set. 2015.

JANZEN, H.H.; BETTANY, J.R. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 144, n. 2, p. 81-89, 1987.

HOROWITZ, N. O enxofre em plantas cultivadas no Brasil. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.127, 2012. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=1095>. Acesso em 29 ago 2015.

HOROWITZ, N. Enxofre em plantas cultivadas no Brasil. **Revista Plantio Direto**, n.127. p.31-35. 2012.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 822-828, 2006.

HIRAKUR, M.H.; LAZZAROTTO, J.J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p.

LAWRENCE, J.R.; GERMIDA, J.J. Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.52, p.672-677, 1988.

MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA). Soja. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>. Acesso em: 01 out. 2015.

MORAES, J.F.S. **Turfa nos Estados de Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, 2001. 16 p. il. (Informe de Recursos Minerais - Série Oportunidades Minerais – Exame Atualizado de Projeto, 14).

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46p.

PRIMO, D.C., MENEZES, R.S.C., SILVA, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, p. 1-12, 2011.

OLIVEIRA, C.A. **Turfa de São José dos Campos, São Paulo**. São Paulo. CPRM, 2001 14 p.il. (Informe de Recursos Minerais, Série Oportunidades Minerais - Exame Atualizado de Projeto, nº 24).

PIRES, E.M. Ecologia geral. Ciclos de vida ou ciclos biológicos. Disponível em: <http://www.controbiol.com.br/Aulas/Ecologia/Aula_06%20Apresenta%C3%A7%C3%A3o.pdf> Acesso em: 17 set. 2015.

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

MALAVOLTA, E.; MORAIS, M.F. **Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição de plantas cultivadas**. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Eds.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira, Piracicaba:IPNI, 2007. p.189-249.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. **Nutrição mineral e adubação em plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 1974. 752 p.

MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRANETTO, A.; KIEHL, J.C. **Fertilidade do Solo**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1984, 400 p.

MORAL, O.F.G.; MORENA, I.; RAMOS, J.M. Effects of nitrogen and foliar sulphur interaction on grain yield and yield components in barley. **Journal of Agronomy and Crop Science**, 183(2): 213-226, 1999.

NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A.; HANWAY, J.J. Sulphur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulphur relationship in some Brazilian and Iowa soils. **Soil Science Society American Proceeding**, Madison, v. 39, n. 1, p. 51-55, 1975.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 655-663, 2003.

NZIGUHEBA, G; SMOLDERS, E; MERCKX, R. Sulphur immobilization and availability in soils assessed using isotope dilution. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37 p.635–644, 2005.

OSORIO FILHO, B.D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2006. 75p.

POTAFÓS. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. rev. e ampl. Piracicaba: Potafos, 1998.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres; Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL (**Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina safras 2012/2013 e 2013/2014**). Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 142p.

RUSSO, R.O.; BERLYN, G.P. The use of organic biostimulants to help low input sustainable agriculture. **Agronomy for Sustainable Development**, Versailles, v.1, p.19-42, 1990.

SALES, H.B. **Importância do Enxofre para a cultura da soja**. Disponível em: < <http://sojapara.blogspot.com.br/2009/07/importancia-do-enxofre-para-cultura-da.html> > Acesso em: 18 set. 2015.

SANDERS, D.S.; RICOTTA, J.A.; HODGES, L. Improvement of carrot stands with plant biostimulants and fluid drilling. **Hortscience**, St. Joseph, v.25, p.181-183, 1990.

SEAB - SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO **Soja – Análise da Conjuntura Agropecuária**. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/soja_2013_14.pdf Acesso em: 16 set. 2015.

SFREDO, G.J.; LANTMANN, A.F. Enxofre nutriente necessário para maiores rendimentos da soja. **Circular Técnica**, n. 53, p.1-6, 2007.

SFREDO, G.J.; KLEPKER, D.; ORTIZ, F.R.; OLIVEIRA NETO, W. **Enxofre: níveis críticos para a soja, nos solos do Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. Solo: alicerce dos sistemas de produção. Botucatu: UNESP; SBCS, 2003. 1 (CD-ROM).

SILVA, C.R.; MARQUES, V.J.; ORLANDI FILHO, V.; COUTINHO, C.I. Panorama da geodiversidade brasileira e suas áreas de relevante interesse mineral. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/arquivos/28_10122008091148.pdf. Acesso em: 3 Dez. 2015

SILVA, F.A.S. & AZEVEDO, C.A.V. **Principal Components Analysis in the Software Assistat -Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, A.N.; FIORIN, J. E.; REBELATO, S.S.; NOWICKI, A.; COLLING, A. Diagnóstico dos teores de enxofre extraível no solo das áreas de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34. **Anais...** SBCS: 28 de julho a 02 de agosto de 2013. Florianópolis, SC.

SILVA, A.C.; HORÁK, I.; VIDAL-TORRADO, P. MARTINEZ CORTIZAZ, A.; RODRIGUES RACEDO, J; CAMPOS, J.R. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional. II- Influência da drenagem na composição elementar e substâncias húmicas. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:1399-1408, 2009

SKIBA, U.; WAINWRIGHT, M. Oxidation of elemental-S in coastal-dune sands and soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, Netherlands, v.77, p.87-95, 1984.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, Campinas, v.129. p.14-20. 2010.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. (Ed. 2). Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995.174 p. (Boletim Técnico, 5).

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**, Campinas, v. 71, p. 518-527, 2012.

TIWARI, K.N.; NIGAN, V.; PATHAK, A.N. Evaluation of some soil test methods for diagnosing sulphur deficiency in rice in alluvial soils of Uttar Pradesh. **Journal os the Indian Society os Soil Science**, New Delhi, 31: 245-249. 1983.

THOMAS, M.D; HENDRICKS, R.H; HILL, G.R. Sulfur metabolism in alfafa. **Soil Science**, Baltimore, v. 70, p. 19-26, 1950.

VITTI, G.C.; FAVARIN, J.L.; GALLO, L.A.; PIEDADE, S.M.S.; FARIA, M.R.M.; CICARONE, F. Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesq. agropec. bras.**, v.42, n.2, p.225-229, 2007.

YAMADA, T. & LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**. Piracicaba: POTAFÓS, 1998. p.2-8. (Encarte Técnico, 84)

WAINWRIGHT, M.; NEVELL, W.; GRAYSTON, S.J. Effects of organic matter on sulphur oxidation in soil and influence of sulphur oxidation on soil nitrification. **Plant and Soil**, Dordrecht, Netherlands, v.96, p.369-376, 1986.

WAINWRIGHT, M. Sulfur oxidation in soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, CA, v.37, p.349-396, 1984.

WRIGLEY, C.W.; DU CROS, D.L.; MOSS, H.J.; PULLINGTON, J.G.; KASARDA, D.D. Effect of sulphur deficiency on wheat quality. **Sulfur in Agriculture**, Washington, v. 8, p. 2-7, 1984.