



LEONARDO FERNANDES SARKIS

**INCORPORAÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM
FORMULADO NPK E O EFEITO NA NUTRIÇÃO E
PRODUTIVIDADE DA SOJA**

LAVRAS – MG

2020

LEONARDO FERNANDES SARKIS

**INCORPORAÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM FORMULADO NPK E O EFEITO
NA NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Adelia Aziz Alexandre Pozza
Orientadora

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Coorientador

LAVRAS – MG

2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Sarkis, Leonardo Fernandes.

Incorporação de micronutrientes em formulado NPK e o efeito na
nutrição e produtividade da soja / Leonardo Fernandes Sarkis. -
2019.

69 p.: il

Orientador(a): Adélia Aziz Alexandre Pozza.

Coorientador(a): Douglas Ramos Guelfi Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Micronutrientes. 2. NPK. 3. Tecnologias para fertilizantes. I.
Pozza, Adélia Aziz Alexandre. II. Guelfi Silva, Douglas Ramos. III.
Título.

LEONARDO FERNANDES SARKIS

**INCORPORAÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM FORMULADO NPK E O EFEITO
NA NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DA SOJA**

**MICRONUTRIENTS INCORPORATION IN NPK FORMULATION AND THE
EFFECTS IN NUTRITION AND GRAIN YIELD OF SOYBEAN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 07 de fevereiro de 2020.

Dr. Carlos Alberto Silva

UFLA

Dr. Edson Marco Mattiello

UFV

Profa. Dra. Adelia Aziz Alexandre Pozza
Orientadora

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Coorientador

**LAVRAS – MG
2020**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, inteligência suprema, causa primária de todas as coisas.

Aos meus pais, Thelma e Ricardo, que me deram a vida e sempre estiveram ao meu lado.

Ao meu segundo pai, Luis Otávio, que a vida me presenteou, a quem amo profundamente e sou extremamente grato por tudo, especialmente por me ensinar que sempre podemos fazer a diferença na vida de alguém e contribuir para um mundo melhor.

Aos meus irmãos, Luisa, Thiago e Daniel, por serem muito especiais para mim.

Ao meu querido avô Paulo, ser humano admirável que já passou por este planeta, por me ensinar a enxergar o invisível e fazer parte da minha caminhada.

À minha namorada, Camila Almeida, por todo o companheirismo, paciência e carinho.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a Embrapa Agrobiologia, por serem instituições importantes na minha formação e decisões.

Aos meus familiares e amigos de longa data que sempre me incentivaram.

À minha orientadora, professora Adélia Aziz Alexandre Pozza, ao meu coorientador professor Douglas Guelfi e ao professor Valdemar Faquin, por todo apoio e ensinamentos durante esta etapa.

Ao professor Alfredo Scheid Lopes (Alfredão), pela amizade, convívio e sábios conselhos que sempre estarão vivos em nossas lembranças.

Aos amigos do laboratório de corretivos e fertilizantes, César Ferreira, André Baldansi, Gilson Alexandrino, Ana Paula, Adriane e Mário e de casa, Devison, Fernandes e Gabriel, por compartilharmos muitos momentos.

Aos alunos de iniciação científica, Giuliano, Carolina, Jéssica Contins, Jéssica Modesto, Daniel, Maycool, Pedro, Gustavo, Maria Eliza e Juliana.

Às agências de fomento CAPES, CNPq e FAPEMIG pela concessão de bolsa e apoio nesta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS).

À Dirce, por toda serenidade, competência e disponibilidade em nos ajudar.

Aos técnicos, Livia, Mari, Alexandre, Aline e Cristina, pela grande ajuda com as análises laboratoriais. Aos funcionários, Pezão, Milton, Doroteo e Roberto, por colaborarem com o trabalho.

À empresa Compass Minerals, pela parceria no desenvolvimento do projeto.

À toda equipe da Fazenda Palheta, pelo imenso apoio nos experimentos em campo.

Aos membros da banca, Dr. Carlos Alberto Silva e Dr. Edson Marco Mattiello pelas contribuições com o trabalho.

Por fim, a todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi reavaliar padrões das necessidades nutricionais em B, Zn, Mn e Cu ao longo do ciclo da soja e do milho a partir de diferentes formas de adição destes micronutrientes ao NPK. Os tratamentos utilizados foram: NPK 02-20-20 sem micronutrientes (T1); NPK 02-20-20 + micronutrientes granulados (T2); NPK 02-20-20 + micronutrientes em suspensão concentrada (T3) e NPK 02-20-20 + micronutrientes em pó (T4), além do controle que não recebeu nenhum fertilizante (T5). O experimento de campo foi conduzido na fazenda Palheta, localizada no município de Luminárias-MG, em um Argissolo Vermelho distrófico, cultivando-se soja e milho em sucessão na safra 2018/2019. Este experimento foi conduzido em faixas, adotando-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo 8 linhas espaçadas por 0,6m e com 24m de comprimento por tratamento. O experimento em casa de vegetação foi conduzido no Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Utilizou-se amostras de solo arenoso e argiloso de baixa fertilidade previamente preparados para se atingir crescentes saturações por bases. O delineamento adotado foi em blocos casualizados em esquema fatorial (4x5), sendo 4 tratamentos + controle e 4 saturações por bases (40, 50, 60 e 70%). Todos os resultados foram submetidos ao teste de normalidade e posteriormente à análise de variância e os tratamentos foram comparados pelo teste t-student (LSD) ao nível de 5% de significância. Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo software SISVAR 5.3® (Ferreira, 2011). A ordem decrescente da máxima extração destes micronutrientes pela soja ao longo do ciclo foi Mn > Zn > B > Cu. No entanto, a ordem decrescente da exportação dos micronutrientes pelos grãos soja ao longo do ciclo foi Zn > Mn > Cu > B. As quantidades de Zn, Cu, Mn e B exportadas pelos grãos de soja corresponderam a 43; 23; 20 e 9,4 %, respectivamente, em relação ao total extraído pela cultura ao longo do ciclo.

Palavras-chave: *Glycine max* L. *Zea mays* L. Micronutrientes. NPK. Tecnologias para fertilizantes. Suspensão concentrada.

ABSTRACT

The objective of this work was to reevaluate patterns of nutritional needs in B, Zn, Mn and Cu along the soybean and corn cycle from different forms of adding these micronutrients to NPK. The treatments used were: NPK 02-20-20 without micronutrients (T1); NPK 02-20-20 + granulated micronutrients (T2); NPK 02-20-20 + micronutrients in concentrated suspension (T3) and NPK 02-20-20 + micronutrients in powder (T4), in addition to the control that received no fertilizer (C). The field experiment was conducted at the Palheta farm, located in the municipality of Luminárias -MG, in a red Argisol, cultivating soybean and corn in succession in the 2018/2019 harvest. This experiment was carried in bands, adopting a completely randomized design (DIC), with 8 lines spaced by 0.6m and 24m in length per treatment. The greenhouse experiment was conducted at the Department of Soil Science, UFPA. Samples of sandy and clayey soil with low fertility previously prepared were used to achieve increasing bases saturations. The adopted design was in randomized blocks in a factorial scheme (4x5), with 4 treatments + control and 4 saturation by bases (40, 50, 60 and 70%). All results were submitted to the normality test and subsequently to the analysis of variance and the treatments were compared by the t-student test (LSD) at the level of 5% significance. All statistical analyzes were performed using the SISVAR 5.3® software. The decreasing order of the maximum extraction of these micronutrients by soy throughout the cycle was Mn > Zn > B > Cu. However, the decreasing order of micronutrient exports by soybeans throughout the cycle was Zn > Mn > Cu > B. The quantities of Zn, Cu, Mn and B exported by soybeans corresponded to 43; 23; 20 and 9.4%, respectively, in relation to the total extracted by the culture throughout the cycle.

Keywords: *Glycine max* L. *Zea mays* L. Micronutrients. NPK. Fertilizer technologies. Concentrated suspension.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - MEV/EDS do MAP dos tratamentos.....	21
Figura 2 - MEV/EDS do KCl dos tratamentos.....	21
Figura 3 - Proporção (%) das granulometrias presentes nos formulados de cada tratamento.....	23
Figura 4 - Dureza dos grânulos de KCl e MAP dos tratamentos.	24
Figura 5 - Picos da análise de distribuição de tamanho de partículas por difração de laser para a suspensão concentrada contendo micronutrientes.....	26
Figura 6 - Picos do FTIR para a suspensão concentrada contendo micronutrientes.	27
Figura 7 - Área escolhida para a condução dos experimentos de campo.....	28
Figura 8 - A) Operação de semeadura, B) emergência e C) estágio vegetativo V3 e D) Estádio vegetativo V4.	30
Figura 9 - Etapas de A) colheita; B e C) trilhagem da soja.	31
Figura 10 - Incubação dos solos A) arenoso e B) argiloso em casa de vegetação por 60 dias com as doses de carbonatos para atingirem as saturações por bases de 40, 50, 60, 70%.....	35
Figura 11 - A) Massa seca de folha (kg ha^{-1}), B) Massa seca de caule + pecíolo (kg ha^{-1}) e C) Massa seca de flor + vagem+ grão (kg ha^{-1}) nos diferentes estádios fenológico e tratamentos.	39
Figura 12 - Marcha de absorção de cobre (g ha^{-1}) e Acúmulo Relativo (%) nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.	41
Figura 13 - Marcha de absorção de manganês (g ha^{-1}) e Acúmulo Relativo (%) nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.....	43
Figura 14 - Marcha de absorção de zinco (g ha^{-1}) e Acúmulo Relativo (%) nos diferentes estádios fenológico e para os diferentes tratamentos.	45
Figura 15 - Marcha de absorção de boro (g ha^{-1}) e Acúmulo Relativo (%) nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.....	47
Figura 16 - Esquema das diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases no solo arenoso.....	55
Figura 17- Esquema das diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases no solo argiloso.	57
Figura 18 - Representação do Milho nas diferentes saturações e nos diferentes tratamentos nos dois tipos de textura de solo.....	64
Figura 19 - Esquema do milho nos diferentes tratamentos e saturações nos dois tipos de solo.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Interpretação dos picos do FTIR para a suspensão concentrada contendo micronutrientes.	27
Tabela 2 - Concentração dos elementos detectados no ICP-OES para a suspensão concentrada contendo micronutrientes.	28
Tabela 3 - Caracterização química e física da área experimental.	29
Tabela 4 - Caracterização química e física das amostras de solos utilizadas no experimento em casa de vegetação.	33
Tabela 5 - Resultados do solo arenoso incubado para a adequação do V% após 30 dias.	34
Tabela 6 - Resultados do solo argiloso incubado para a adequação do V% após 30 dias.	34
Tabela 7 - Resultados do solo arenoso incubado para a adequação do V% após 60 dias.	35
Tabela 8 - Resultados do solo argiloso incubado para a adequação do V% após 60 dias.	35
Tabela 9 - Produtividade da soja nos diferentes tratamentos.	48
Tabela 10 - Teor e acúmulo de cobre nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.	49
Tabela 11 - Teor e acúmulo de manganês nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.	50
Tabela 12 - Teor e acúmulo de zinco nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.	51
Tabela 13 - Teor e acúmulo de boro nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.	52
Tabela 14 - Massa seca das diferentes partes da soja e nos diferentes tratamentos e saturações em solos de textura arenosa e argilosa.	53
Tabela 15 - Teor e acúmulo de cobre nas diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.	59
Tabela 16 - Teor e acúmulo de manganês nas diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.	60
Tabela 17 - Teor e acúmulo de zinco nas diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.	61
Tabela 18. Teor e acúmulo de boro nas diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.	62
Tabela 19 - Massa seca do milho para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.	63
Tabela 20 - Teor e acúmulo de cobre no milho para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.	67
Tabela 21 - Teor e acúmulo de Mn no milho para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.	68
Tabela 22 - Teor e acúmulo de Zn no milho para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.	69
Tabela 23 - Teor e acúmulo de B no milho para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.	70
Tabela 24 - Caracterização química do solo de textura arenosa nas diferentes saturações de base e nos diferentes tratamentos.	72
Tabela 25 - Caracterização química do solo de textura argilosa nas diferentes saturações de base e nos diferentes tratamentos.	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Importância dos micronutrientes	12
2.2	Funções, forma de absorção e comportamento dos micronutrientes no solo e nas plantas.....	13
2.3	Filosofias e contexto do fornecimento de micronutrientes no manejo da adubação ..	15
2.4	Fontes de micronutrientes e formas de aplicação.....	16
2.5	Fertilizantes NPK contendo micronutrientes	17
2.6	Segregação	19
2.7	Sistemas de sucessão de soja e milho	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1	Características dos fertilizantes	20
3.2	Experimento de campo.....	28
3.3	Experimento em casa de vegetação.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Experimentos de campo	38
4.2	Experimentos em casa de vegetação	53
5	CONCLUSÕES	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a produção de grãos no Brasil ocupa uma área de 62,8 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 35 milhões se destinam à produção da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] e 17 milhões correspondem a área de produção de milho (*Zea mays* L.) (CONAB, 2019). Esses números expressam a importância desses grãos para a agricultura brasileira e colocam o país em destaque no contexto mundial.

Os atuais sistemas de produção de soja e modernos híbridos de milho, aliados às recentes práticas agronômicas, podem ter influenciado a absorção, partição e remobilização de nutrientes desde a publicação dos últimos estudos abrangentes (Bender et al., 2013; Bender et al., 2015). Embora muitos estados ofereçam diretrizes de absorção e remoção de nutrientes por meio de publicações de extensão ou guias de agronomia, a pesquisa que apoia esses assuntos normalmente não é citada ou é baseada em práticas de produção desatualizadas (Heckman et al., 2003). Com isso, não se sabe se as recomendações atuais de fertilizantes baseadas nestes dados antigos são adequadas para sustentar as elevadas produções de biomassa e rendimentos de grãos. Além disso, esses estudos geralmente incluem somente os elementos minerais de N, P e K, sendo ainda mais escassas as informações sobre macronutrientes secundários e, principalmente, micronutrientes (Bender et al., 2015). No entanto, apesar dos montantes de micronutrientes exigidos pelas plantas serem reduzidos em comparação com a demanda por macronutrientes, a deficiência ou o excesso de qualquer um deles pode ocasionar problemas relativos ao crescimento e desenvolvimento das plantas, interferindo não só na quantidade, mas também na qualidade da produção (Mengel, 1980; Römheld & Marschner, 1991; Dechen & Nachtigall, 2006). Embora os micronutrientes estejam presentes na natureza, os seus teores normalmente não são adequados para garantir altos rendimentos e, portanto, surge a necessidade de serem adicionados por fertilizantes (Monteiro Filho, 2005).

O uso intensificado de micronutrientes é inserido no contexto agrícola da busca por rentabilidade. Essa, por sua vez, é o resultado do bom rendimento e máxima eficácia no processo de produção (Abreu et al., 2007). Estudar o acúmulo destes em função dos estádios fenológicos da cultura é fundamental na definição de estratégias de fornecimento de quantidades corretas e momentos mais adequados para a realização das adubações. Além disso, torna-se importante conhecer as quantidades mínimas que devem ser restituídas ao solo para fins de manutenção da fertilidade (Borges et al., 2009). Estudos têm demonstrado aumento de produtividade devido à aplicação de micronutrientes em muitas culturas (Resende, 2005). No entanto, apesar do seu uso generalizado, faltam informações sobre métodos de aplicação e

fontes de micronutrientes em diferentes solos e culturas (Volkweiss, 1991; Lopes, 1999). Porém, o sucesso da fertilização com micronutrientes envolve não só a necessidade da análise do solo e respostas das culturas, mas também o aprimoramento destas fontes, métodos de aplicação e recomendação de critérios (Lopes, 1999; Lopes; Abreu, 2000).

A soja e o milho com elevados níveis de produtividade, geralmente, respondem positivamente às aplicações de micronutrientes, especialmente boro (B), molibdênio (Mo), manganês (Mn), zinco (Zn) e ao cobre (Cu) (Favarin et al., 2008), principalmente em solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica (Santos et al., 2015). No entanto, as pequenas quantidades de micronutrientes requeridas pelas culturas dificultam a uniformidade do processo de aplicação (Mortvedt, 1991), principalmente devido à segregação em misturas de grânulos. Essa pode ser causada por diferenças no tamanho, forma ou densidade dos materiais fertilizantes, podendo ocorrer durante o processo de mistura, manuseio e aplicação (Lopes, 1999; Mortvedt; Gilkes, 1993; Mortvedt, 1991). Esse cenário aponta para a necessidade de desenvolver novas tecnologias para contornar este problema, sendo o revestimento de grânulos de NPK com micronutrientes uma alternativa para melhorar a uniformidade da aplicação (Abreu et al., 2007).

O fornecimento de micronutrientes agregados a formulações de NPK durante a fertilização tornou-se usual (Resende, 2005), sendo uma das formas mais comuns de adubação com micronutrientes via solo (Lopes, 1999). Apresenta como vantagem a obtenção de formulação para macro e micronutrientes (Abreu et al., 2007). No entanto, são poucos os estudos que comparam as fontes de micronutrientes misturadas, revestindo ou incorporadas em fertilizantes NPK (Resende, 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar padrões das necessidades nutricionais em B, Zn, Cu e Mn da soja ao longo do ciclo a partir de diferentes formas de adição desses micronutrientes ao formulado NPK.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância dos micronutrientes

Os micronutrientes são elementos essenciais aos vegetais e caracterizam-se por serem absorvidos em pequenas quantidades, acumulando-se na ordem de miligramas por quilograma de massa seca desses vegetais. Isso se deve ao fato destes não comporem estruturas de planta, mas constituírem enzimas ou atuarem como seus ativadores (Sedyama, 2016).

A deficiência de qualquer micronutriente pode ocasionar problemas relativos ao crescimento e desenvolvimento das plantas, interferindo não só na quantidade, mas também na qualidade da produção (Dechen & Nachtigall, 2006), pois afeta os processos metabólicos, assim como os macronutrientes (Coelho; França, 2013), podendo ocasionar até mesmo a morte de plantas como consequência deste desequilíbrio (Orlando Filho, 1993). Os micronutrientes até então reconhecidos podem ser divididos, de acordo com as suas cargas, em catiônicos (cobre, ferro, manganês, níquel e zinco) e aniônicos (boro, cloro e molibdênio), sendo ferro, manganês, zinco, boro, cobre, níquel e molibdênio a ordem decrescente das quantidades requeridas, de maneira geral, pelos vegetais (Furlani, 2012).

No atual contexto da agricultura no Brasil e no mundo, alguns aspectos favorecem o cenário de agravamento geral das deficiências nutricionais. O conhecimento do comportamento dos micronutrientes em solos e em plantas pode possibilitar a orientação de adubações com estes elementos. Dentro deste contexto, alguns destes aspectos agravantes destacam-se, como as produtividades crescentes, elevando as remoções e, conseqüentemente, reduzindo os teores desses nutrientes nos solos, a aplicação de doses crescentes de calcário, elevando o pH e diminuindo a disponibilidade dos mesmos e ainda o avanço da agricultura em solos das regiões de cerrado, os quais são originalmente deficientes em micronutrientes (Raij, 2011).

2.2 Funções, forma de absorção e comportamento dos micronutrientes no solo e nas plantas

Boro

O boro é não metal e está presente na solução do solo, predominantemente na forma de ácido bórico (H_3BO_3), podendo haver dissociação e aparecer a forma de $H_2BO_3^-$ em valores de pH maiores que 7 (Raij, 2011) e pode ser absorvido nestas duas formas. A função fisiológica do boro difere de qualquer outro micronutriente, pois este ânion não é encontrado em nenhum composto ou enzima específica. Entretanto, possui funções na divisão celular, formação de parede celular, síntese de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e de fitormônios, no metabolismo e transporte dos carboidratos e transporte de açúcares através das membranas (Sediyama, 2016), além de ser essencial para a germinação do grão de pólen e formação de tubo polínico (Favarin et al., 2008). É comum a ocorrência de adsorção às partículas do solo, sendo maior a intensidade em óxidos hidratados de ferro e alumínio e parte do boro indisponível está retida pela a matéria orgânica do solo. No entanto, este é o mais móvel dos micronutrientes (exceto o cloro) no solo, podendo ser lixiviado, principalmente em solos de textura arenosa, resultando em não se acumular de forma expressiva (Raij, 2011). Assim, depois do zinco, o boro é o micronutriente

cuja deficiência ocorre de forma mais generalizada nas áreas de cerrado (Sedyama, 2016). Após ser depositado nos tecidos das plantas é muito pouco móvel, o que explica os sintomas de deficiência aparecerem nos tecidos jovens (Favarin; Marini, 2000).

Cobre

O cobre é absorvido na forma de íon Cu^{2+} e também na forma de Cu-quelato, a qual é inibida por altas concentrações de P, Zn, Fe e Mn (Sedyama, 2016). Este nutriente tem importância como ativador de enzimas e na fotossíntese, tendendo a se acumular no cloroplasto e fazendo parte da plastocianina, onde atua no transporte de elétrons (Mengel e Kirkby, 1987). Tem participação ainda na síntese proteica e é constituinte de diversas enzimas, tais como ácido ascórbico, oxidase, monoamina oxidase, polifenol, lacase (Taiz; Zeiger, 2004). Atua ainda na síntese da leghemoglobina e no transporte de elétrons durante a fixação de nitrogênio, que ocorre no interior dos nódulos nas raízes (Favarin; Marini, 2000).

No solo, este nutriente reage facilmente com componentes minerais e orgânicos, tornando-se pouco móvel, sendo o Cu^{2+} a forma iônica mais comum. Uma característica marcante decorre do fato da adsorção à fração mineral e a complexação pela matéria orgânica serem importantes reações na determinação do comportamento deste elemento, evidenciando-se na ocorrência frequente de deficiência deste nutriente em solos orgânicos, devido a indisponibilização (Raij, 2011). Em solos argilosos, a probabilidade de deficiência é menor (Abreu et al., 2007). Após ser absorvido, esse elemento tem pouca mobilidade no interior da planta (Favarin; Marini, 2000).

Manganês

O manganês pode ser absorvido pelas plantas como Mn^{2+} . Este nutriente é ativador de muitas enzimas como descarboxilases, hidrolases e transferidoras de grupos (fosfoquinases e fosfotransferases). Participa ainda da reação de fotólise da água no fotossistema II, da formação de clorofila e da formação, multiplicação e funcionamento dos cloroplastos, podendo atuar no balanço iônico como contra-íon (Sfredo e Borket, 2004; Sedyama, 2016) e também atuar na síntese de metabólitos e aminoácidos (Santos et al, 2015).

Este nutriente forma diversos minerais, com valências indicadas pelos cátions Mn^{2+} , Mn^{3+} e Mn^{4+} e, em função do intemperismo, os compostos de Mn das rochas são oxidados e reprecipitados, formando minerais secundários, de comportamento químico e mineralógico bastante complexo (Raij, 2011). Os compostos de Mn caracterizam-se pela rápida oxidação e

redução nas condições variáveis que ocorrem nos solos. O Mn^{2+} é um cátion trocável existente na solução de solos ácidos, sendo a forma mais solúvel, enquanto a forma tetravalente é a mais inerte do óxido MnO_2 . A forma do óxido Mn_2O_3 é uma forma altamente reativa. Em solos de Cerrado, observa-se redução na produtividade da soja pelo excesso de Mn. No entanto, situações de saturação por bases (V) mais elevada (maior que 60% e pH acima de 6,0) causam deficiência desse micronutriente, resultando em clorose com tons amarelo-esverdeados das folhas mais novas entre as nervuras e as nervuras de cor verde-escura, ocorrendo estes sintomas inicialmente em folhas jovens, caracterizada pelo encarquilhamento e pontos necróticos de coloração marrom-escura no limbo foliar (Sediyama, 2016).

Zinco

O Zn é absorvido na forma de Zn^{2+} , tanto por via radicular quanto via foliar. Este micronutriente age como ativador de enzimas como a sintetase do triptofano, precursora do AIA, desidrogenase e anidrase carbônica (Sfredo, 2008), precursor de aminoácidos e hormônios e crescimento de tecido (Santos et al, 2015). Os teores ligeiramente maiores geralmente estão presentes em sedimentos argilosos, enquanto os menores aparecem em arenosos. Em se tratando de rochas, o zinco está presente principalmente como sulfetos (ZnS), mas também aparece em substituições isomórficas em silicatos no lugar do Mg^{2+} . A solubilização pelo intemperismo produz cátion Zn^{2+} , sendo estes adsorvidos aos solos pelos minerais e pela matéria orgânica. Destaca-se que o Zn é fortemente adsorvido pela fração mineral, mas esta adsorção pode ser amenizada em menores valores de pH (Raij, 2011). A deficiência deste micronutriente é generalizada em áreas de Cerrado recém-abertas para a agricultura (Lopes, 2004), sendo o mais frequente em aparecimento de deficiências de micronutrientes no Brasil (Malavolta, 1994). Na planta tem baixa mobilidade no floema.

2.3 Filosofias e contexto do fornecimento de micronutrientes no manejo da adubação

Existem três filosofias básicas para a aplicação de micronutrientes no Brasil, sendo estas a filosofia de segurança, de prescrição e de restituição (Lopes, 1999). A primeira foi mais utilizada nas décadas de 60 e 70, caracterizando-se por não utilizar dados de análises de solo e planta, sendo recomendado mais de um ou todos os micronutrientes. A filosofia de prescrição veio aos poucos substituindo a filosofia de segurança, baseando-se nos resultados das análises que antes não eram considerados. A filosofia de restituição tem como objetivo repor ao solo as quantidades de micronutrientes retiradas pelas colheitas, evitando o esgotamento e,

consequentemente, as deficiências. Esta última filosofia vem sendo bastante utilizada principalmente em áreas que tem atingido altos tetos de produtividade e intensificação das deficiências devido as elevadas exportações pelas culturas. As deficiências de certos micronutrientes costumam ser específicas, como a de zinco para milho e a de boro para algodão, o que subsidia à decisão das tabelas de adubação do Boletim Técnico nº100 em incluir somente a recomendação de micronutrientes que apresentam deficiências frequentes em cada cultura (Raji et al., 1997). No entanto, este fato deve ser revisto, para que as aplicações de micronutrientes sejam feitas sempre que os teores forem baixos no solo (Raij, 2011). A combinação ideal seria através da integração das estratégias de prescrição com a de restituição (Abreu et al., 2007).

2.4 Fontes de micronutrientes e formas de aplicação

As fontes de micronutrientes variam em função da sua forma física, reatividade química, custo e eficiência agrônômica (Sediyama, 2016). Geralmente agrupadas em fontes inorgânicas (simples, contendo-os na forma de sais solúveis em água, como os cloretos, sulfatos e nitratos ou forma de sais metálicos insolúveis em água, como os carbonatos, fosfatos, oxisulfatos e os óxidos, quelatos sintéticos, complexos orgânicos e “fritas” ou oxi-silicatos). São diversos os métodos de aplicação dos micronutrientes, os quais podem ser fornecidos via solo (a lanço com e sem incorporação, em linhas, em covas ou sulcos e em faixa), incluindo adubação fluida e fertirrigação, misturas de fontes de micronutrientes com fontes NPK, incorporação em misturas granuladas, fertilizantes granulados e fertilizantes simples, revestimentos de fertilizantes NPK, via foliar, via sementes, via raízes de mudas e ainda deve-se considerar o efeito residual (Abreu et al., 2007). Assim, determinada a necessidade de aplicação dos micronutrientes, busca-se definir o melhor método de aplicação recomendável para cada situação (Lopes, 1999), e também a melhor fonte (Abreu et al., 2007). Por serem as fontes de menor solubilidade dos micronutrientes metálicos, os óxidos geralmente têm um menor preço por unidade de micronutriente do que os de fontes solúveis como os sulfatos, o que passa a ser uma vantagem de sua utilização (Lopes, 1991). A preocupação com a granulometria do óxido surge, pois interfere na disponibilidade para as plantas, diminuindo esta solubilidade em água com o aumento de tamanho de partículas, devido à diminuição da superfície específica (Mortvedt, 1991). A eficiência dos óxidos é favorecida em condições mais ácidas, facilitando a solubilização do produto. Alguns óxidos, como o de cobre, podem ser utilizados na forma como foram extraídos no processo de mineração, mas, em outros casos, como a do óxido de

manganês, a disponibilidade é muito baixa, não sendo recomendado o seu uso diretamente na agricultura (Lopes, 1991). Por essa razão, em algumas situações, os óxidos têm menor eficiência para as culturas, principalmente se aplicados na forma granular por ter uma redução da superfície específica (Lopes, 1991). No entanto, apesar da baixa solubilidade em água, existem produtos no mercado de boa qualidade, e os óxidos apresentam bons resultados. Como exemplo, Barbosa Filho et al., (1982) compararam o efeito de sulfato, cloreto e óxido de zinco com duas fritas comerciais e não encontraram diferenças significativas entre as três primeiras fontes empregadas, as quais se mostraram mais eficientes quanto à produção de grãos de arroz.

2.5 Fertilizantes NPK contendo micronutrientes

O fornecimento de micronutrientes agregados a formulações de NPK durante a fertilização tem se tornado cada vez mais usual (Resende, 2005), sendo uma das formas mais comuns de adubação com micronutrientes via solo (Lopes, 1999). Apresenta como vantagem a obtenção de formulação para macro e micronutrientes (Abreu et al., 2007), mas são poucos os estudos que comparam as fontes de micronutrientes misturadas, revestindo ou incorporadas em fertilizantes NPK (Resende, 2005). No entanto, essas são algumas das maneiras que podem aumentar a uniformidade de aplicação visando maior eficiência dos micronutrientes para as culturas, além de serem alternativas prática e econômica (Lopes, 1991). As quantidades de micronutrientes a serem adicionadas dependem da quantidade de fertilizante a ser utilizada. Essa varia em função da cultura e do tipo de solo, sendo que solos mais argilosos exigem, em geral, uma quantidade maior de micronutrientes nas fórmulas quando comparados a solos arenosos (Santos et al., 2015). Essas características devem ser conhecidas pelo fabricante para orientar a formulação (Nikitin, 1967), o que muitas vezes explica a dificuldade de encontrar fertilizantes contendo o micronutriente necessário na quantidade requerida para diferentes condições de cultura e solo (Resende, 2005).

A vantagem do uso de mistura de micronutrientes com grânulos NPK está na possibilidade de obtenção de formulações para atender recomendações específicas, tanto de N, P_2O_5 e/ou K_2O , quanto de micronutrientes (Abreu et al., 2007), visto que realiza-se um processo completo de mistura, o mais próximo possível do período de aplicação, com tempo de contato suficiente entre os fertilizantes, matérias primas com o menor teor de umidade possível, de modo a se evitar, por exemplo, problemas de empedramento e garantir a maior homogeneidade possível (Sauchelli, 1967; Lopes, 1999). No entanto, o principal problema que pode surgir é a segregação durante o processo de mistura, no manuseio e, conseqüentemente, na aplicação,

implicando em distribuição desuniforme, o que é crítico devido às pequenas doses recomendadas (Lopes, 1999; Mortvedt; Gilkes, 1993; Mortvedt, 1991). Mortvedt (1991) indica a utilização de grânulos de tamanhos semelhantes como solução, pois a principal causa da segregação é a diferença no tamanho dos grânulos, embora haja também influência de forma e densidade dos mesmos, de acordo com estudos citados por Lopes (1999). No entanto, ao se usar fontes de baixa solubilidade, com o aumento do tamanho do grânulo, a disponibilidade do nutriente para as plantas diminui devido a redução da superfície específica. Assim, a mistura de grânulos só permanece homogênea se essas características conferirem partículas de tamanhos semelhantes ao produto final e que não se deteriorem durante o armazenamento (Mortvedt, 1991). Outro problema decorrente da utilização de misturas NPK com micronutrientes é que, mesmo havendo uniformidade no tamanho de grânulos, a continuidade na distribuição na superfície do solo é inferior ao obtido com a utilização da forma em pó, incorporado ou revestindo os grânulos de NPK (Lopes, 1999).

O revestimento de grânulos de NPK, misturas granuladas ou fertilizantes simples com micronutrientes é outra alternativa para melhorar a uniformidade de aplicação desses elementos (Abreu et al., 2007), esperando-se que a eficiência agrônômica de micronutrientes revestindo grânulos seja semelhante a dos incorporados, bem como sua distribuição no solo e suas reações após a dissolução (Lopes, 1999). A técnica consiste no espalhamento da fonte de micronutrientes na forma de pó fino sobre o fertilizante, na presença de agente agregante ou ligante, sabendo-se que esse componente, dependendo do material, pode alterar a característica agrônômica do produto final (Amado, 2005), visto que alguns ligantes podem inibir as reações dos micronutrientes com os grânulos, porém outros ajudam a promovê-las e permitem boa aderência (Lher, 1991). Em algumas situações, alguns materiais usados como agentes agregantes não conseguem reter o revestimento com micronutrientes durante o ensacamento, armazenamento e manuseio do fertilizante. Isso pode resultar em segregação e distribuição desuniforme, sendo recomendado como ligantes soluções contendo fertilizantes em função dos teores exigidos pela garantia não diminuam consideravelmente (Lopes, 1999).

As possíveis reações químicas indesejáveis durante ou após o processo de adição de micronutrientes aos fertilizantes NPK nas formas de revestimento ou incorporação são compensadas pela principal preocupação que está em garantir a distribuição uniforme das pequenas quantidades de micronutrientes através do grande volume de fertilizante aos quais estão adicionados (Sauchelli, 1967). Depende também das adequadas propriedades físicas dos formulados NPK que contêm micronutrientes, as quais são obtidas pela cura apropriada das

fontes de macronutrientes, pelo ajuste adequado do pH do produto final e também pela prevenção do acúmulo de umidade durante o armazenamento (Nikitin, 1967). Os micronutrientes, incluindo o manganês, têm sido utilizados no revestimento de grânulos, o que, tratando-se de boa homogeneidade, não só previne a segregação, mas também aumenta sua eficiência (Walter; Wetherlet, 1985 apud Graham et al., 1988). Outro exemplo disso é o zinco, que de acordo com Mortvedt e Gilkes (1993), quando utilizado no revestimento de grânulos de fertilizantes NPK, elimina grande parte da possibilidade de haver segregação.

2.6 Segregação

A segregação dos fertilizantes é um tema pouco abordado no Brasil, tanto nas pesquisas relacionadas à qualidade dos adubos quanto nos estudos relacionados às máquinas adubadoras (Molin et al., 2009). Este fenômeno pode ser definido a partir de diferentes perspectivas, seja pela simples reversão da mistura, ou desmistura, seja como o fato de materiais particulados sólidos a granel, constituídos por partículas com propriedades diferentes, evoluírem para um estado espacialmente desuniforme (JHA, 2008).

No sistema contendo partículas com características diferentes, aquelas com características similares tendem a se reunir em alguma parte da massa do material, resultando em segregação. Assim, a mistura aleatória não reflete o estado natural, pois mesmo que as partículas se apresentem inicialmente misturadas, elas se separam quando manuseadas (Rodella, 2018). A segregação é indesejável por causar desuniformidade da aplicação e, conseqüentemente, interferir na resposta agrônômica.

Diferenças no tamanho dos grânulos são tipicamente encontradas nas misturas de grânulos de diferentes fontes de nutrientes. Nestas situações, a segregação por tamanho também significa segregação química (Rodella, 2018).

2.7 Sistemas de sucessão de soja e milho

A sequência de cultivos de uma ou mais culturas ordenadas no tempo ou mesmo no ano agrícola, no mesmo local, cultivadas uma após a outra, recebe o nome de sucessão de culturas (Terrón, 1995; Oda et al., 2009). Se em uma mesma parcela a sucessão de cultivos se estabelece de modo que em um determinado número de anos se tenha realizado todos os cultivos, realizando-se a repetição de sucessão, que pode ser cíclica ou não, tem-se a rotação de culturas (Terrón, 1995). O sistema de produção deve ser auto-sustentável, buscando viabilidade técnica e econômica das culturas, dispostas a obterem vantagens recíprocas no sistema de rotação

(Altmann, 2009) e, segundo a Embrapa (2011), culturas agrícolas inseridas em sistema de rotação de culturas apresentam, em média, 10% de aumento de produtividade. A rotação repõe restos orgânicos e protege o solo da ação de agentes climáticos, ajuda a viabilização da semeadura direta e diversifica a produção agropecuária (Embrapa, 2000). No cultivo em sucessão, a inclusão de leguminosas ao sistema de rotação pelo aporte de nitrogênio por fixação biológica melhora a fertilidade do solo e, nesse sentido, evita-se o cultivo sucessivo de espécies muito exigentes em nitrogênio, como o milho (Sediyama, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

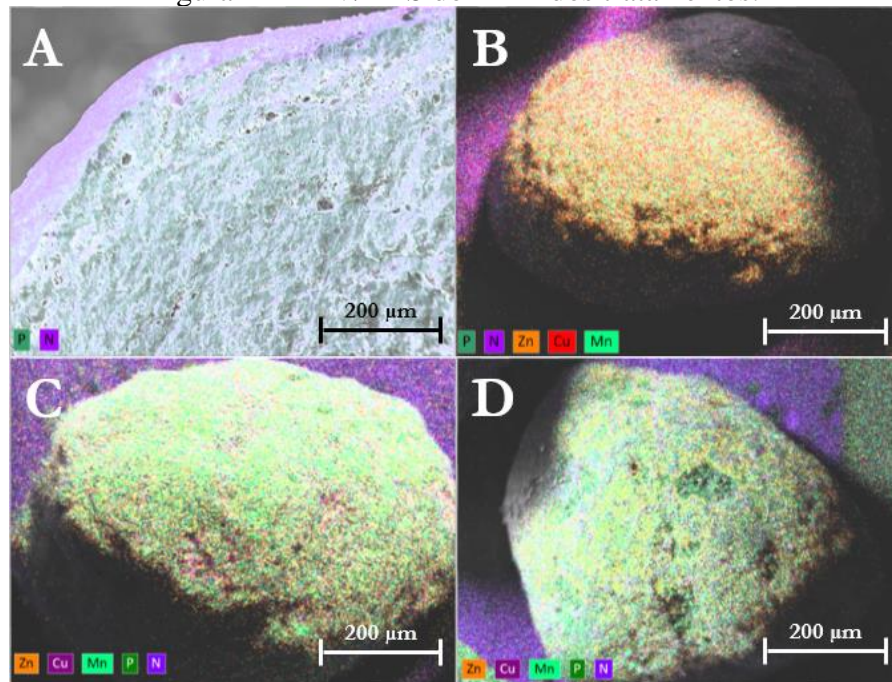
3.1 Características dos fertilizantes

Os experimentos foram conduzidos em campo e casa de vegetação, sendo utilizados os mesmos tratamentos em ambas condições. Os tratamentos utilizados foram: 1) NPK; 2) NPK + micronutrientes em grânulos; 3) NPK + micronutrientes em suspensão concentrada; 4) NPK + micronutrientes em pó; 5) controle (sem adubação). O formulado NPK utilizado foi a mistura de grânulos com proporção 02-20-20 para todos os tratamentos, sendo composto pelo fosfato monoamônico (MAP) como fonte de fósforo (P) e nitrogênio (N) e pelo cloreto de potássio (KCl) como fonte de K.

As misturas físicas dos fertilizantes foram realizadas em betoneira e todos os tratamentos acrescidos de micronutrientes receberam B, Cu, Mn e Zn. Utilizaram-se fontes comerciais destes micronutrientes para estas misturas, garantindo o fornecimento de 0,4; 0,68; 1,34; 1,34 g de cada um desses nutrientes, respectivamente, por kg de formulado. Desta forma, as fontes de micronutrientes se diferenciaram apenas em suas formas físicas nestas misturas.

Após as misturas, todos os fertilizantes foram submetidos à microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de dispersão de energia por raios X (EDS). Para cada tratamento, as imagens foram realizadas para os grânulos de MAP e KCl, separadamente (Figuras 1 e 2). As análises foram realizadas no "Laboratório de microscopia eletrônica e análise ultra estrutural (LME)", no departamento de Fitopatologia, UFLA. As amostras de fertilizantes foram cortadas com bisturi, montadas em lâminas de alumínio e revestidas com carbono usando um evaporador de carbono (modelo Union CED 020). Em seguida, as amostras foram observadas por MEV (modelo LEO EVO 40 XVP - Zeiss), qualificadas e mapeadas quanto à composição química por EDS (equipamento Quantax XFlash 5010 - Bruker).

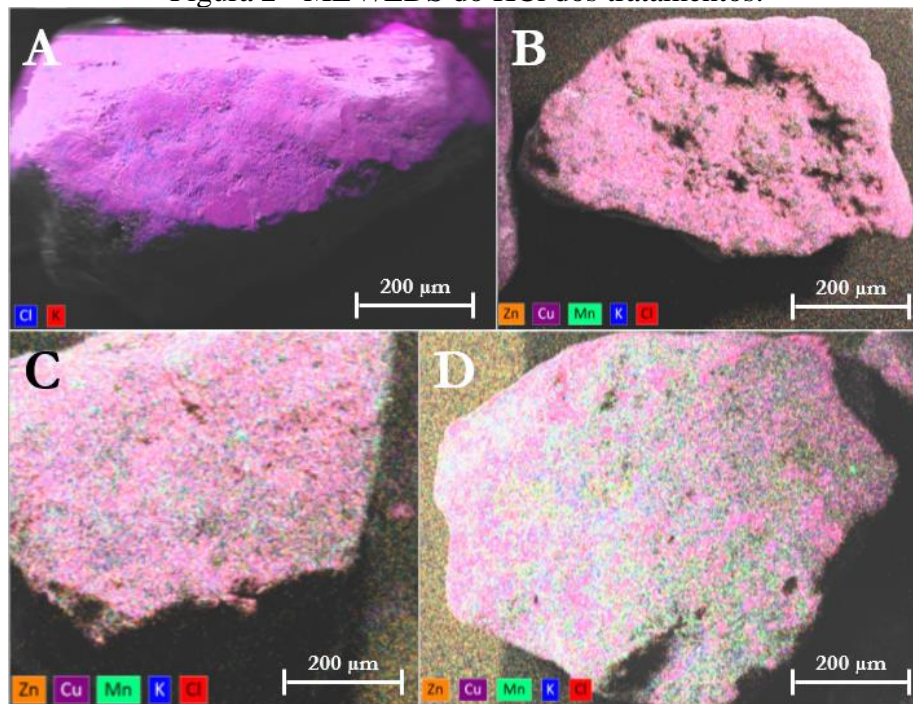
Figura 1 - MEV/EDS do MAP dos tratamentos.



Legenda: A) NPK, B) NPK + micronutrientes em grânulos, C) NPK + micronutrientes em suspensão concentrada, D) NPK + micronutrientes em pó.

Fonte: Do autor (2020).

Figura 2 - MEV/EDS do KCl dos tratamentos.



Legenda: A) NPK, B) NPK + micronutrientes em grânulos, C) NPK + micronutrientes em suspensão concentrada, D) NPK + micronutrientes em pó.

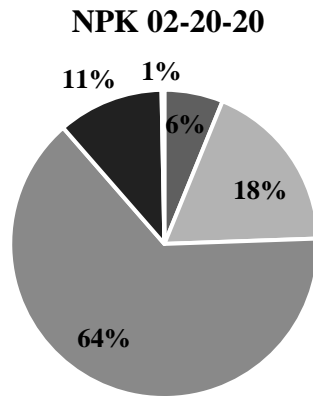
Fonte: Do autor (2020).

Retirou-se amostra de aproximadamente 450 g para cada mistura de fertilizantes com o auxílio do quarteador de aço inox da marca “sondaterra”. Essas amostras foram pesadas e, em

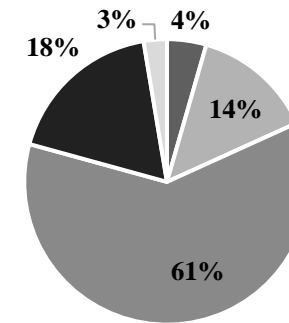
seguida, passadas em um jogo de peneiras da marca “a bronzinox” para análise granulométrica. Utilizou-se malhas com aberturas de 1; 2; 3,35 e 4 mm e pesou-se a quantidade de fertilizante retida em cada uma delas. Assim, calculou-se a proporção das diferentes granulometrias contidas em cada mistura através da divisão da massa retida em cada malha pela massa inicial da amostra, multiplicando-se posteriormente por 100 e obtendo-se o resultado em % (Figura 3).

Figura 3 - Proporção (%) das granulometrias presentes nos formulados de cada tratamento.

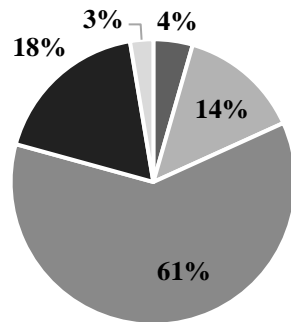
- >4mm
- 3,35-4mm
- 2-3,35mm
- 1-2mm
- <1mm



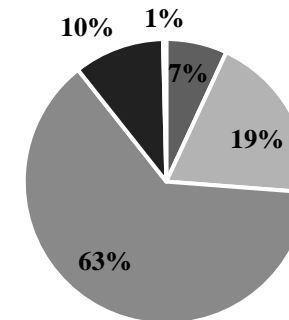
NPK 02-20-20 + Micronutrientes granulados



NPK 02-20-20 + Micronutrientes granulados



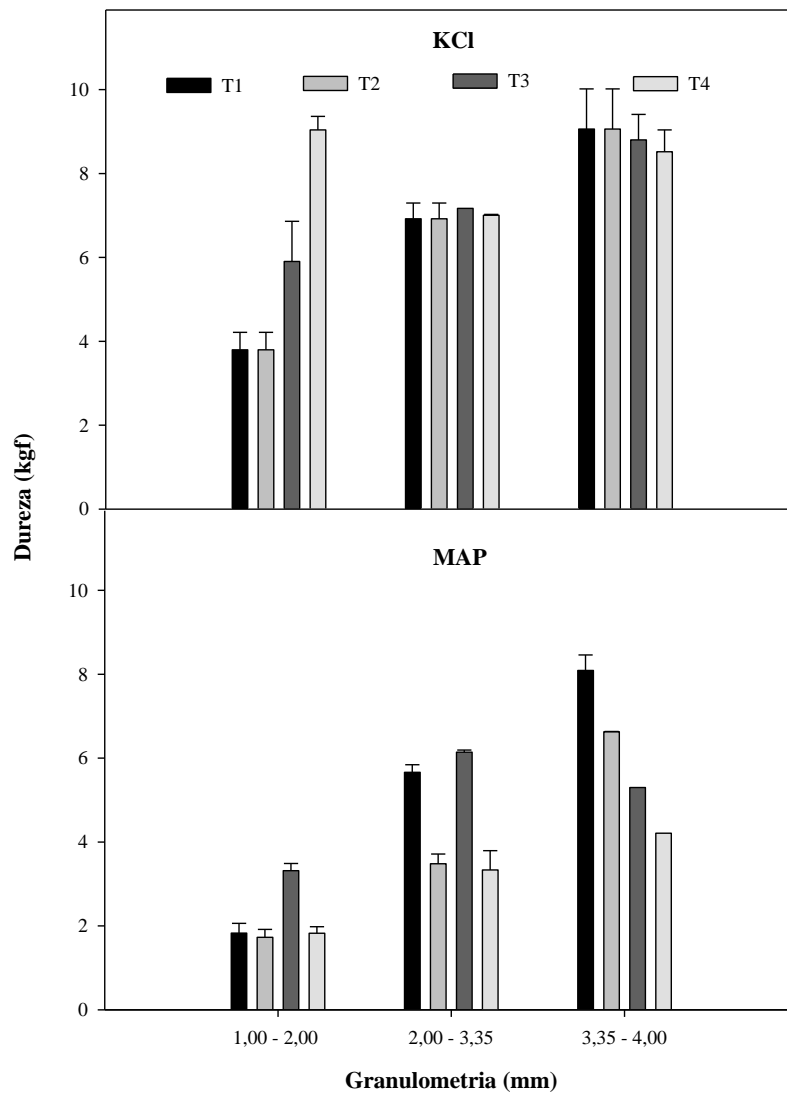
NPK 02-20-20 + Micronutrientes em pó



Fonte: Do autor (2020).

As frações separadas pelas peneiras para a determinação das proporções foram também caracterizadas quando a dureza, a qual está relacionada a tendência em formação de pó nestas misturas, conforme a Figura 4. Para a determinação desta propriedade física dos fertilizantes, utilizou-se um penetrógrafo do Laboratório de física do solo, no Departamento de ciência do solo, UFLA.

Figura 4 - Dureza dos grânulos de KCl e MAP dos tratamentos.



Legenda: T1) NPK, T2) NPK + micronutrientes em grânulos, T3) NPK + micronutrientes em suspensão concentrada e T4) NPK + micronutrientes em pó, após a separação das diferentes granulometrias contidas nas misturas.

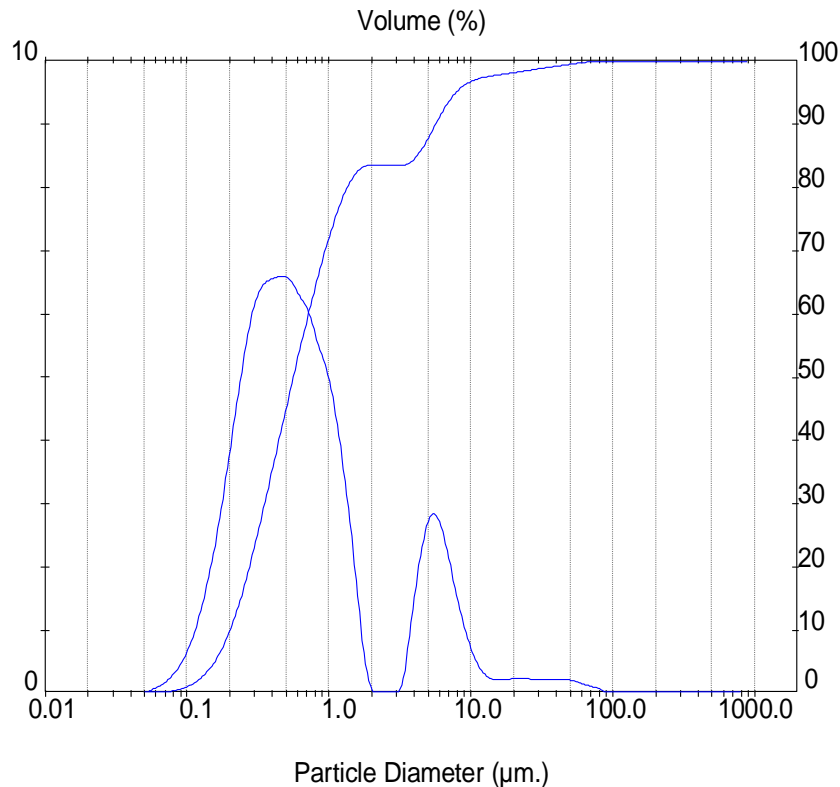
Fonte: Do autor (2020).

A suspensão concentrada utilizada no tratamento 3 (NPK + micronutrientes em suspensão concentrada) trata-se de nova tecnologia desenvolvida visando evitar o problema da

segregação, recorrente quando se utiliza outras formas de micronutrientes com tamanhos distintos. Assim, utilizou-se esta suspensão a partir do recobrimento da mistura de grânulos NPK, evitando ainda as incompatibilidades químicas que podem ser favorecidas quando se utiliza a co-granulação (mistura granulada).

Esta tecnologia consiste em fontes de baixa solubilidade destes micronutrientes (óxidos) dispersas em solventes não aquosos. Realizou-se a caracterização complementar para esta suspensão para observar a homogeneidade da composição deste material. Primeiramente, aferiu-se o pH desta suspensão, que apresentou o valor 8,2. Retirou-se 5 alíquotas desta suspensão como repetições para a análise de distribuição de tamanho de partículas por difração de laser pelo equipamento Mastersizer ms, no Laboratório de recursos analíticos e de calibração (LRAC), Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP. Este equipamento incidiu a radiação eletromagnética na região do visível com comprimento de onda fixo (laser) sobre fluxo contínuo de amostra dispersa em água, sendo a radiação refletida, difratada ou transmitida, identificada por detectores espalhados dentro da câmara de amostra. Esta radiação detectada foi processada através das teorias de Mie ou Fraunhofer, sendo o tamanho da partícula inversamente proporcional ao ângulo de difração. Assim, observou-se que 1,04%; 69,3%; 26,79% e 2,87% das partículas contidas na suspensão estavam, em média, entre os intervalos de 0,055 e 0,099; 0,109 e 0,938; 1,03 e 9,80; 10,81 e 878,7 μm , respectivamente, evidenciando a uniformidade desta suspensão (Figura 5).

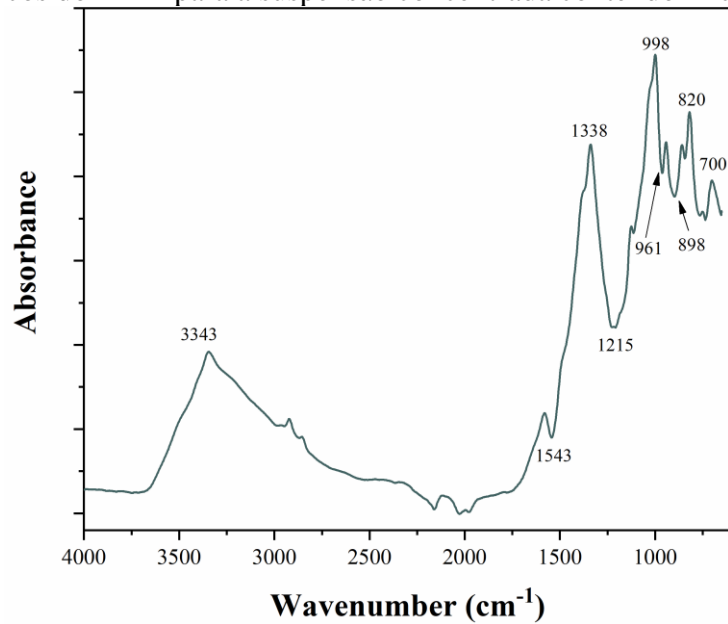
Figura 5 - Picos da análise de distribuição de tamanho de partículas por difração de laser para a suspensão concentrada contendo micronutrientes.



Fonte: Do autor (2020).

Posteriormente, retirou-se uma alíquota da suspensão para a análise de FTIR. Os picos da análise de FTIR da suspensão puderam ser identificados com auxílio da análise do ICP com detector OES (Figura 6). Os módulos de vibração associados às ligações químicas responsáveis pela absorção estão apresentados na Tabela 1. Os picos que mais se destacaram indicam a presença de SO_2 , a confirmação de ligações CH_3 -metal e a presença de aditivos poliméricos. A presença de SO_2 pode ser devida a sua característica de preservar outros compostos de oxidação por sua alta reatividade com o oxigênio. As ligações CH_3 -metal eram esperadas devido a natureza do material, visto que a solução contém macro e micronutrientes confirmados pela análise de ICP-OES (Tabela 2). Os aditivos poliméricos que podem fazer parte da composição da solução têm papéis diferentes no produto final. O carbonato de cálcio age potencializando as propriedades mecânicas do produto final e aumentando a resistência a impactos. O talco serve como material de enchimento. O kaolin, além de material de enchimento, melhora as propriedades de revestimento principalmente quando utilizada com o dióxido de titânio, que também funciona como protetor da degradação do polímero enquanto a sílica funciona como antiaglomerante.

Figura 6 - Picos do FTIR para a suspensão concentrada contendo micronutrientes.



Fonte: Do autor (2020).

Tabela 1 - Interpretação dos picos do FTIR para a suspensão concentrada contendo micronutrientes.

FTIR bands assignment of suspensão concentrada peaks (cm ⁻¹)	
Suspensão concentrada	Band assignment ^b
3343	O-H stretching vibration intramolecular
1543	N-H deformation and C-N stretching vibration
1338	asymmetrically SO ₂ stretching vibration
1215	C-H asymmetrically deformation vibration (metal-CH ₃)
998	asymmetrically CS ₂ (Cu (III) complexes)
961	CH ₃ rocking vibration (S-CH ₃)
898	CH ₃ -metal groups due CH ₂ rocking vibration
820	MnO ⁴⁺ ion
700	Polymer additives (Calcium carbonate, talc, kaolin, titanium dioxide, silica)

^baccording literature George Socrates "Infrared and Raman Characteristic Group frequencies" John Wiley & Sons, 18.06.2004

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 2 - Concentração dos elementos detectados no ICP-OES para a suspensão concentrada contendo micronutrientes.

Elemento	Concentração (g.L⁻¹)
Alumínio (Al)	0,145
Cálcio (Ca)	1,062
Cobre (Cu)	275,05
Ferro (Fe)	0,678
Potássio (K)	0,126
Magnésio (Mg)	0,353
Manganês (Mn)	5,628
Fósforo (P)	0,375
Enxofre (S)	45,411
Zinco (Zn)	288,00

Fonte: Do autor (2020).

3.2 Experimento de campo

O experimento foi conduzido na fazenda Palheta, localizada no município de Luminárias-MG, na safra 2019/2020. A área utilizada possui um histórico de 20 anos em sistema de plantio direto e está apresentada na Figura 1.

Figura 7 - Área escolhida para a condução dos experimentos de campo.



Fonte: Do autor (2020).

Realizou-se a amostragem de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm para a análise antes do plantio da soja, caracterizando-se química e fisicamente o solo da área escolhida para a condução do experimento, conforme as Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização química e física da área experimental.

Profundidade cm	pH	K mg dm ⁻³	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Al ³⁺	H+Al	T %	V	Zn	Fe	Mn mg dm ⁻³	Cu	B	M.O.	Argila dag kg ⁻¹	Silte	Areia
0-20	5,50	122,32	3,85	2,83	0,67	0,05	3,20	7,00	54,34	1,73	53,01	12,65	1,08	0,29	2,40	57,00	26,00	17,00
20-40	4,80	70,18	1,04	2,17	0,50	0,11	4,78	7,63	37,35	0,98	46,50	6,66	1,02	0,25	2,54	62,00	27,00	17,00

Fonte: Do autor (2020).

O experimento foi conduzido em faixas e adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Foram utilizadas 8 linhas de semeadura para cada tratamento. Adotou-se o espaçamento de 0,6m entre as linhas e o comprimento da linha foi de 24m.

O cultivar utilizado foi o 95R90IPRO Pioneer®. Realizou-se a semeadura e a adubação mecanicamente para reproduzir as condições reais que favorecem a segregação dos fertilizantes. Utilizou-se implemento com quatro linhas de semeadura acoplados ao trator da marca Valtra. As linhas correspondentes a cada tratamento foram decorrentes de duas “corridas” de 24m pelo trator nos sentidos de “ida e volta”, sendo os tratamentos dispostos em faixas para que pudessem ser mantidas ainda as condições que podem promover a segregação durante a operação. As caixas de fertilizantes foram esgotadas e devidamente limpas antes de serem preenchidas com os fertilizantes de cada tratamento.

O estande utilizado foi de 285.000 plantas ha^{-1} e a adubação seguiu a dose de 615 kg ha^{-1} do formulado 02-20-20 para os diferentes tratamentos, garantindo o fornecimento de 246; 418,2; 824,1 e 824,1 g ha^{-1} de boro, cobre, manganês e zinco, respectivamente. A Figura 8 (A, B, C e D) mostra a operação de semeadura, emergência e estádios vegetativos V3 e V4, nesta ordem.

Figura 8 - A) Operação de semeadura, B) emergência e C) estágio vegetativo V3 e D) Estádio vegetativo V4.



Fonte: Do autor (2020).

As amostragens de plantas foram realizadas nas quatro linhas centrais, sendo as duas mais externas destinadas as coletas de plantas em diferentes estádios fenológicos e as duas internas permaneceram intactas até o momento da colheita dos grãos.

As coletas de plantas em diferentes estádios fenológicos foram realizadas para determinar a marcha de absorção de B, Zn, Cu e Mn ao longo do ciclo da soja. Essas amostragens de plantas foram realizadas conforme Pedersen (2009), ocorrendo em V4 (quarto trifólio), V7 (sétimo trifólio), R2 (pleno florescimento), R4 (vagem completamente

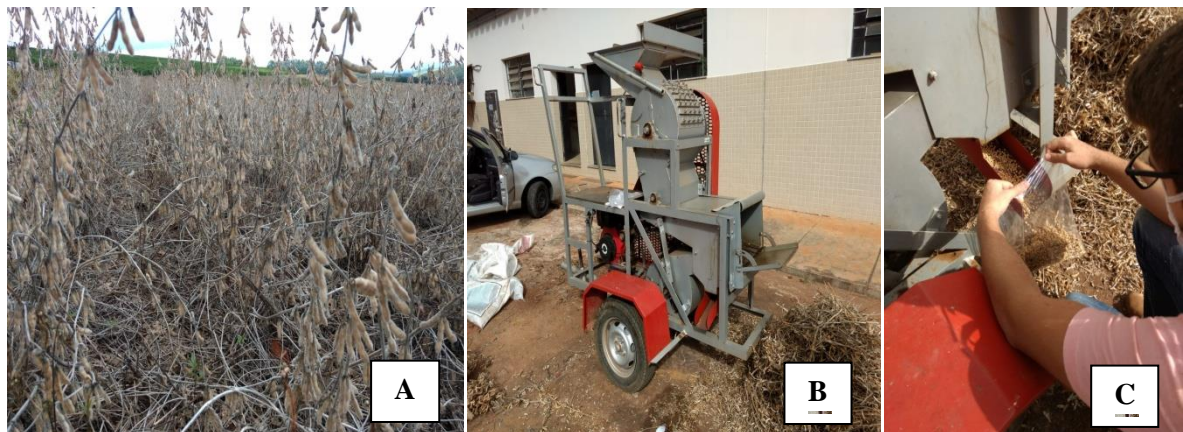
desenvolvida), R5 (início do enchimento de grãos), R6 (grãos cheios) e R8 (maturação plena), quando pelo menos 50% das plantas apresentavam o respectivo estágio.

As plantas amostradas foram separadas em caule (caules e pecíolos), folhas (folhas individuais), flor (flores e vagens) e grãos. Secou-se em estufa a 60°C até o material atingir massa constante. Após a secagem, o material foi pesado e moído para a análise dos teores dos micronutrientes através do espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OS) conforme Malavolta (1997).

Calculou-se o acúmulo dos nutrientes na parte aérea multiplicando-se a massa seca do tecido pelo teor encontrado no mesmo. O total acumulado decorreu da soma do nutriente acumulado em cada tecido presente em cada estágio fenológico.

A produtividade foi estimada a partir da coleta das linhas centrais deixadas intactas até o estágio R8. Coletou-se 2 metros lineares em cada uma destas linhas, totalizando 4m. Essas plantas foram trilhadas para a separação dos grãos (Figura 9). Aferiu-se a umidade destes grãos a partir do medidor de umidade portátil G600i Gehaka Agri. Os cálculos de produtividade consideraram a correção da umidade para 14% por efeito de padronização.

Figura 9 - Etapas de A) colheita; B e C) trilhagem da soja.



Fonte: Do autor (2020).

Após a colheita da soja, semeou-se o milho nas mesmas linhas anteriormente cultivadas, respeitando-se o mesmo delineamento para observar-se o efeito residual dos micronutrientes fornecidos pela adubação da primeira cultura. Assim, o milho não foi adubado e as amostragens seriam realizadas coletando-se seis plantas nos seguintes estádios: V6 (estágio vegetativo da folha 6), V10 (estágio vegetativo da folha 10), V14 (estágio vegetativo da folha 14), R2 (grãos leitosos), R4 (grãos farináceos) e R6 (maturidade fisiológica) (Hanway, 1963; Ritchie et al., 1997), também nos momentos em que pelo menos 50% das plantas exibissem o respectivo

estágio fenológico. Os tecidos vegetais seriam separados em colmo (caule e bainha foliar), folha (lâminas foliares), flores (pendão, sabugo e casca) e grãos. No entanto, devido a erros operacionais da fazenda durante a aplicação de herbicidas, houve insucesso nesta tentativa de sucessão de culturas para a observação do efeito residual, pois o milho foi perdido no estágio V4.

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade e posteriormente à análise de variância e os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo software SISVAR 5.3® (Ferreira, 2011).

3.3 Experimento em casa de vegetação

Coletou-se amostras de dois solos com texturas contrastantes para a condução do experimento em casa de vegetação do Departamento de Ciência do solo, UFLA. Estes solos escolhidos eram de textura arenosa e argilosa, respectivamente. A amostra de solo arenoso foi coletada nos 20 cm superficiais do Neossolo Quartzarênico distrófico, localizado no município de Itutinga-MG. A amostra de solo argiloso foi coletada em Lavras-MG no horizonte B do Latossolo Vermelho distroférico, localizado no campus da UFLA. Os solos coletados foram secos ao ar e peneirados em malha de 4mm.

Retirou-se uma amostra composta de cada solo para a realização das análises químicas e físicas. A amostra do solo arenoso coletada no município de Itutinga-MG, apresentou 9; 3 e 88 % de argila, silte e areia, respectivamente (Tabela 4). A amostra de solo argiloso coletada em Lavras-MG apresentou 64; 17 e 19 % destas mesmas frações granulométricas, nesta sequência. As saturações por bases (V%) iniciais do solo arenoso e argiloso foram 11,59 e 26,61, enquanto o pH foi 4,73 e 5,60, respectivamente. Os resultados destas análises foram utilizados para calcular as doses de carbonatos de cálcio e magnésio necessárias para a elevação das saturações por bases (V%) de cada solo até 40, 50, 60 e 70%.

Tabela 4 - Caracterização química e física das amostras de solos utilizadas no experimento em casa de vegetação.

Tipo	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B	M.O.	Argila	Silte	Areia
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%		mg dm ⁻³					dag kg ⁻¹			
Arenoso	4,80	22,96	3,52	0,48	0,10	0,69	4,88	5,52	11,57	0,33	120,60	11,08	0,46	0,08	1,40	9,00	3,00	88,00
Argiloso	4,80	5,75	0,49	0,55	0,10	0,01	1,82	2,48	26,80	0,30	27,53	5,40	1,30	0,01	1,01	64,00	17,00	19,00

Fonte: Do autor (2020).

Determinou-se a curva de neutralização de cada solo a partir do método da curva de incubação para a correção da acidez do solo. Apesar deste método apresentar algumas desvantagens como não ser prático para o uso rotineiro, tem como ponto positivo a possibilidade de ser utilizado neste tipo de trabalho de pesquisa, garantindo condições controladas e adequadas neste contexto.

Preparou-se a mistura dos carbonatos de cálcio e magnésio p.a na proporção 3:1, resultando em PRNT de 200,68 %. Posteriormente, calculou-se as doses necessárias desta mistura para que cada solo atingisse as saturações desejadas. Os solos peneirados foram pesados em sacos plásticos contendo 1kg, sendo 4 repetições de cada dose para cada solo, totalizando 20 sacos de cada solo, incluindo o controle (sem carbonatos).

Os carbonatos foram pesados e misturados ao volume de solo seco dos sacos plásticos. Agitou-se este volume de solo até garantir a completa homogeneização. Após a determinação da capacidade de campo de cada solo, as quais foram 31,12% para o argiloso e 5,26% para o arenoso, utilizou-se 42,1 e 249,0 mL de água por saco de solo contendo estas texturas, respectivamente. O volume de água utilizado correspondeu a 80% da capacidade de campo conforme indicado por Sousa et al (2007). Esta umidade foi mantida ao longo da incubação e realizou-se duas amostragens para as análises química, sendo a primeira aos 30 dias e a segunda aos 60 dias.

Os resultados médios de V% obtidos na amostragem realizada aos 30 dias para o solo arenoso variaram de 45,33 a 65,68% para as respectivas doses, enquanto o pH variou de 5,40 a 6,45 (Tabela 5). Para o solo argiloso, o V% variou de 27,93 a 40,05 e o pH foi de 5,70 até 6,10 (Tabela 6). Observou-se aumento dos teores de Ca e o Mg e redução o Al em ambos os solos, conforme esperado, com a aplicação de carbonatos. Para as amostras coletadas aos 60 dias (Tabelas 7 e 8), os valores de Ca e Mg aumentaram, alcançando-se saturações por bases até 71,81 e 50,61% para a textura arenosa e argilosa, respectivamente. Com isso, observou-se o efeito do tamponamento no solo argiloso devido a presença de cargas na fração argila e na matéria orgânica.

Os resultados das análises destes solos incubados por 30 e 60 dias apresentados nas Tabelas 5, 6, 7, 8 serviram de base para a definição das doses posteriormente aplicadas nos solos do experimento em vasos conforme a Figura 10, os quais ficaram incubados pelo mesmo tempo.

Tabela 5 - Resultados do solo arenoso incubado para a adequação do V% após 30 dias.

Tratamentos	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V
		cmol _c dm ⁻³		%
Controle	4,73	0,29	0,10	9,15
V% 40	5,40	1,81	0,28	45,33
V% 50	5,95	2,19	0,29	53,55
V% 60	6,18	2,56	0,30	60,57
V% 70	6,45	2,83	0,26	65,58

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 6 - Resultados do solo argiloso incubado para a adequação do V% após 30 dias.

Tratamentos	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V
		cmol _c dm ⁻³		%
Controle	5,60	0,44	0,10	22,36
V% 40	5,70	0,63	0,10	27,93
V% 50	5,80	0,75	0,10	33,04
V% 60	6,20	1,00	0,10	39,04
V% 70	6,10	1,05	0,10	40,05

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 7- Resultados do solo arenoso incubado para a adequação do V% após 60 dias.

Tratamentos	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V
		cmol _c dm ⁻³		%
Controle	4,4	0,49	0,10	14,1
V% 40	5,80	1,70	0,43	50,7
V% 50	6,00	2,06	0,46	60,61
V% 60	6,17	2,4	0,49	66,59
V% 70	6,40	2,8	0,51	71,81

Fonte: Do autor (2020).

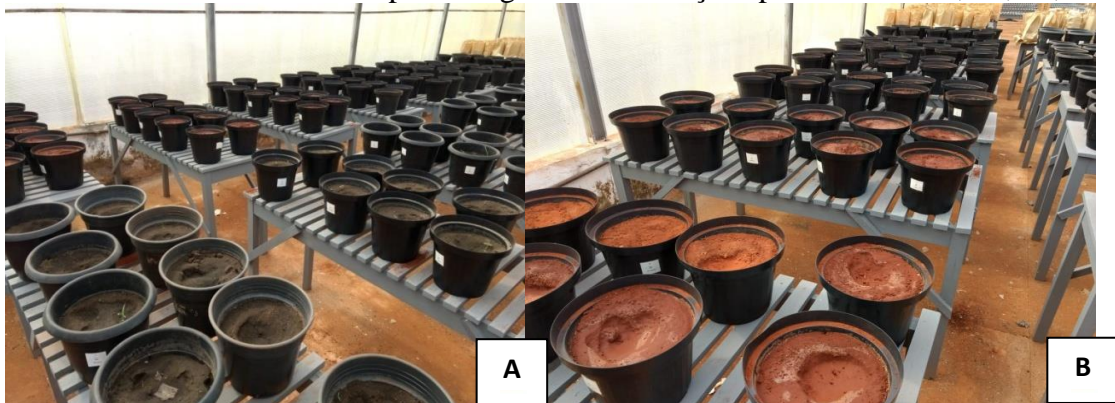
Tabela 8 - Resultados do solo argiloso incubado para a adequação do V% após 60 dias.

Tratamentos	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V
		cmol _c dm ⁻³		%
Controle	5,15	0,55	0,10	29,52
V% 40	5,45	0,75	0,11	35,91
V% 50	5,60	0,96	0,17	43,44
V% 60	5,77	1,05	0,18	45,70
V% 70	5,95	1,22	0,21	50,61

Fonte: Do autor (2020).

Pesaram-se 80 sacos de 5 Kg de cada solo e misturaram-se a cada 20 sacos plásticos as doses de carbonatos correspondentes as saturações de 40, 50, 60 e 70%, respectivamente. Estes carbonatos foram completamente misturados ao solo e, posteriormente, estes volumes de solo foram colocados nos vasos. Estes vasos ficaram incubados por 2 meses, mantendo-se a umidade constante para a devida reação dos carbonatos.

Figura 10 - Incubação dos solos A) arenoso e B) argiloso em casa de vegetação por 60 dias com as doses de carbonatos para atingirem as saturações por bases de 40, 50, 60, 70%.



Fonte: Do autor (2020).

Após este tempo de incubação, realizou-se a adubação utilizando como base as doses recomendadas por Malavolta (1980). Utilizou-se 17,18 g vaso⁻¹ de cada formulado, garantindo o fornecimento de 300 mg kg⁻¹ (1,5g) de P por vaso. Por se tratar de um formulado, a dose utilizada para garantir a quantidade correta de fósforo resultou em uma dose de potássio de 572 mg kg⁻¹, sendo 2,8 vezes maior que a dose recomendada. Por outro lado, a quantidade de N fornecida por esta dose de fertilizante foi de 68 mg kg⁻¹, sendo 3,4 vezes menor do que a recomendação adotada na mesma literatura (300 mg kg⁻¹). Assim, foram realizadas 4 adubações de cobertura utilizando o nitrato de amônio como fonte de N para alcançar esta recomendação. As quantidades (mg vaso⁻¹) de B, Cu, Mn e Zn carregadas por esta dose do formulado foram 6,87 (1,38 mg kg⁻¹); 11,68 (2,34 mg kg⁻¹); 23,01 (4,6 mg kg⁻¹) e 23,01(4,6 mg kg⁻¹), respectivamente. As recomendações indicadas pela literatura são de 0,5; 1,5; 3 e 5 mg kg⁻¹, respectivamente. Realizou-se a aplicação de 5 mg kg⁻¹ de Fe para todos os vasos após 25 dias da emergência da soja, pois as plantas dos vasos com solo arenoso começaram a apresentar deficiência deste micronutriente.

Realizou-se a semeadura da soja utilizando-se 6 sementes do cultivar 95R90IPRO Pioneer® por vaso, o mesmo material utilizado no experimento em campo. Realizou-se o primeiro desbaste aos 12 dias após a emergência, deixando-se 3 plantas por vaso. Aos 16 dias após a emergência, realizou-se o segundo desbaste, deixando-se 2 plantas por vaso, as quais foram conduzidas até o enchimento de grãos.

Após o cultivo da soja até a produção de sementes, semeou-se o milho nos mesmos vasos para se observar o efeito residual dos micronutrientes aplicados na soja, cultivando-se por 45 dias. O cultivar utilizado foi o Dekalb 390 VT PRO 2TM, sendo 5 sementes por vaso. Realizou-se o desbaste das plantas aos 10 dias após a emergência, deixando-se somente duas plantas por vaso. Aplicou-se o total de 100 mg kg⁻¹ de P, N e K utilizando-se o KH₂PO₄ e NH₄H₂PO₄ p.a como fontes destes macronutrientes. A dose de fósforo foi aplicada totalmente aos 20 dias após a semeadura. Esta aplicação foi realizada a partir de 5 furos feitos até a profundidade total do vaso com o auxílio de bastão de vidro. As doses de nitrogênio e potássio foram parceladas em duas aplicações, sendo estas aos 20 e 25 dias após a semeadura. As aplicações destes macronutrientes foram realizadas visando não limitar o crescimento das plantas e permitir o acúmulo adequado dos micronutrientes residuais, provenientes da aplicação anteriormente realizada para a soja.

O delineamento adotado foi em blocos casualizados em esquema fatorial (4x5). Os tratamentos foram 4 fertilizantes + controle e 4 saturações por bases (40, 50, 60 e 70%). Os

dados foram submetidos ao teste normalidade e, posteriormente, submetido a análise de variância e a comparação das médias, por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$). Utilizou-se o software SISVAR 5.3® (Ferreira, 2011)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

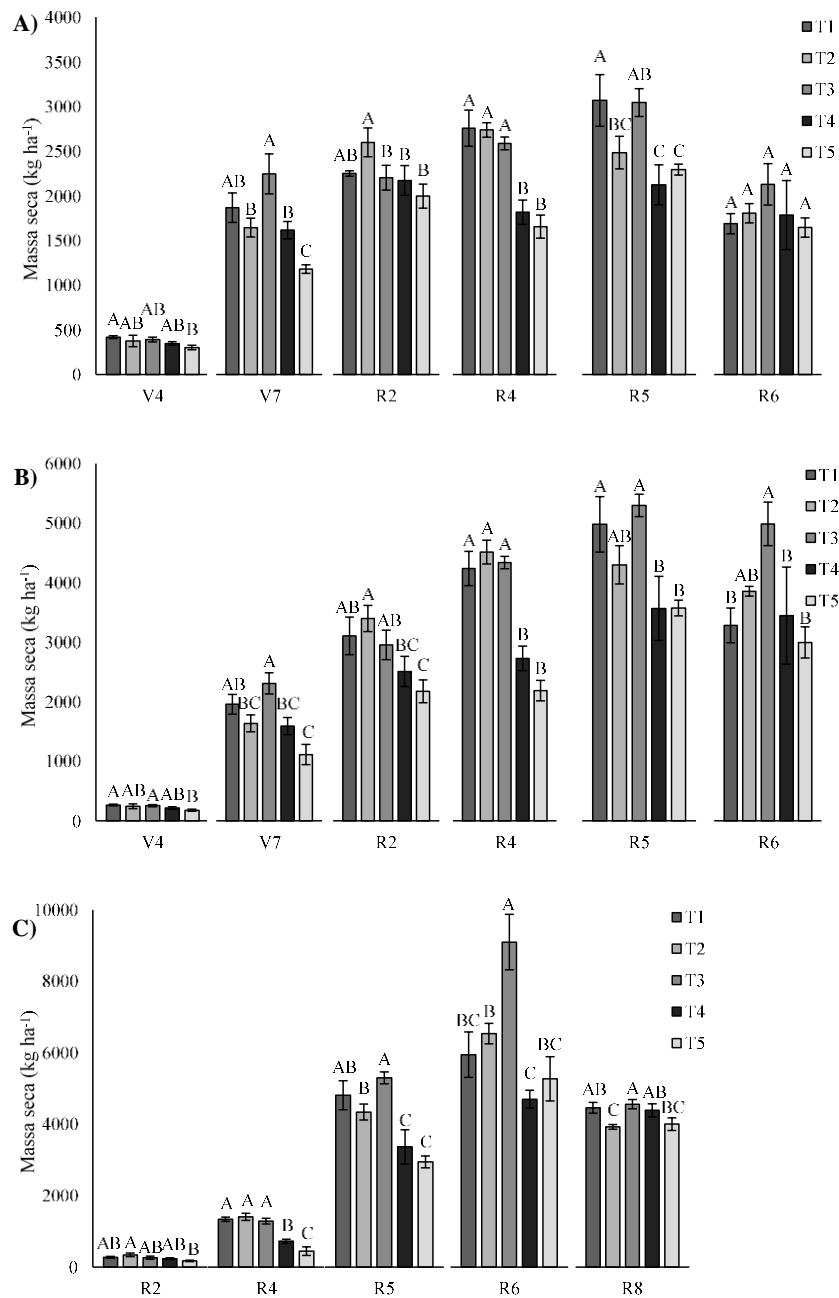
4.1 Experimentos de campo

Os tratamentos apresentaram diferenças visuais no estágio reprodutivo R5. Observou-se que o tratamento 3 (NPK + micronutrientes em suspensão concentrada) promoveu crescimento em altura ligeiramente superior aos demais tratamentos e ainda maior uniformidade das plantas. O tratamento 4, o qual forneceu micronutrientes através da mistura de pó convencional ao formulado NPK apresentou marcante desuniformidade no tamanho das plantas ao longo do ciclo, o que pode indicar a ocorrência de segregação da mistura.

A massa seca de parte aérea dos diferentes tratamentos foi muito variável de acordo com os estádios fenológicos amostrados e com os diferentes tecidos (Figura 11). Os micronutrientes em suspensão concentrada promoveram maior massa seca de folhas e caule e pecíolo no estágio fenológico V7, enquanto no estágio R2 a maior massa seca de folhas foi observada para os micronutrientes em grânulos.

Ao longo do ciclo, não se observou tendência marcante em relação aos ganhos de massa seca com o fornecimento de micronutrientes. Esta ausência de resposta pode ser explicada pelo suprimento das necessidades nutricionais das plantas a partir dos teores de nutrientes do solo. Isso se comprova pelos elevados ganhos em massa seca e produtividade do controle, o qual não recebeu nenhum tipo de adubação.

Figura 11 - A) Massa seca de folha (kg ha^{-1}), B) Massa seca de caule + pecíolo (kg ha^{-1}) e C) Massa seca de flor + vagem+ grão (kg ha^{-1}) nos diferentes estádios fenológico e tratamentos.



Legenda: *T1 - NPK 02-20-20; T2 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes granulados; T3 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em pó e T5 - Controle. * Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor (2020).

A Figura 12 apresenta os acúmulos de Cu pela soja para os tratamentos em diferentes estádios fenológicos, assim como a proporção relativa deste acúmulo em cada tecido desta cultura.

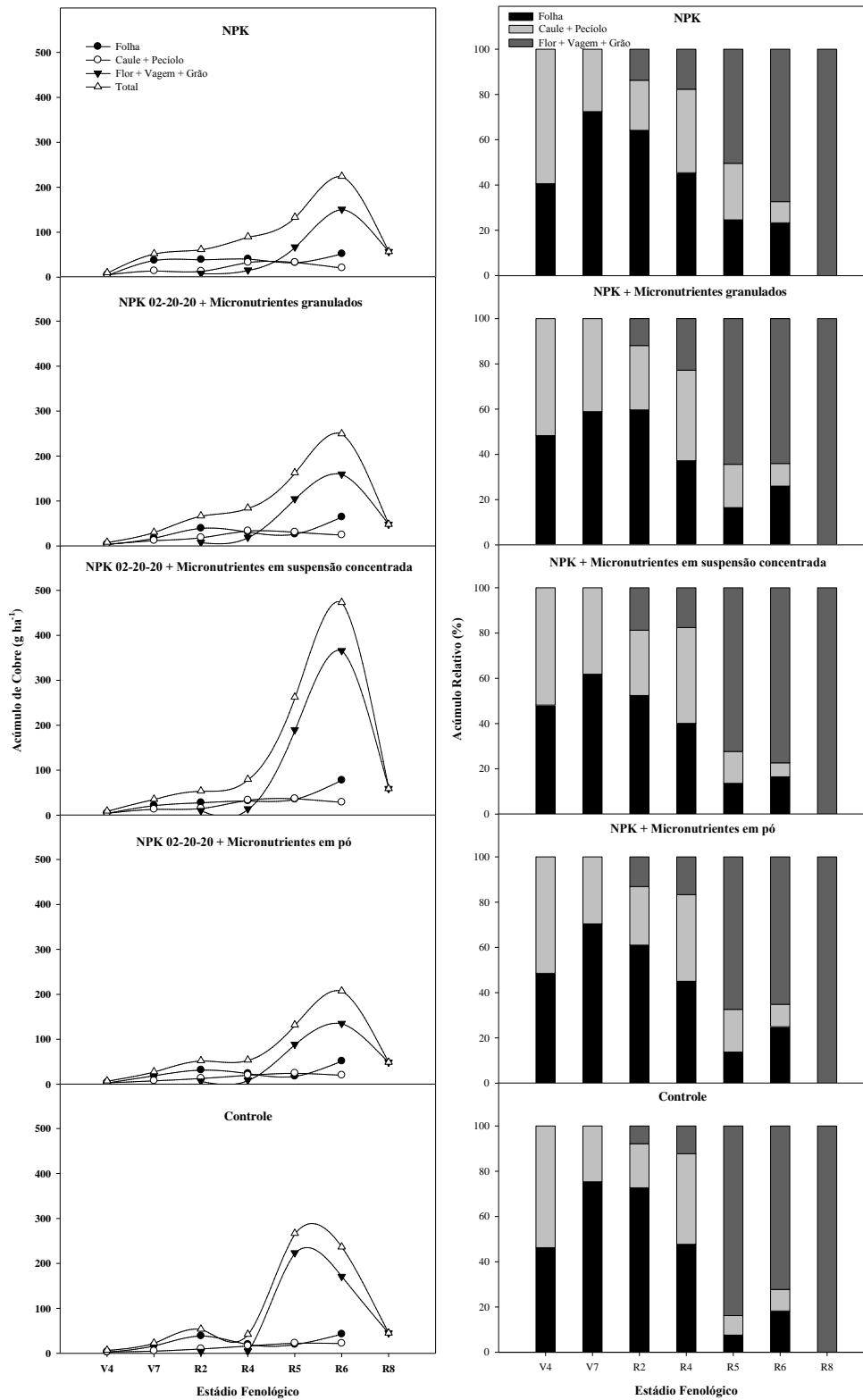
Os estádios R5 e R6 apresentaram maior acúmulo de cobre nas folhas quando utilizou-se os micronutrientes em grânulos e em suspensão concentrada, sendo estes acúmulos na ordem de, aproximadamente, 36 e 78 g ha⁻¹, respectivamente. Observou-se também o maior teor deste nutriente para estes mesmos tratamentos no estádio V5, o que contribuiu para este maior acúmulo, visto que não houve diferença estatística na massa seca para as folhas destes estádios.

Em relação ao acúmulo relativo, observou-se aumento expressivo deste nutriente nas folhas até o estádio V7, a partir do qual esta proporção relativa diminuiu em decorrência do surgimento de flores, vagens e, posteriormente, os grãos.

Observou-se um pico no acúmulo total de cobre no estádio R6, variando entre 200 e 500 g ha⁻¹, respectivamente. O maior acúmulo de cobre foi observado para a suspensão concentrada contendo micronutrientes, diferindo-se estatisticamente. Essa diferença pode ser explicada tanto pela massa seca que foi maior para este tratamento quanto pelo maior teor encontrado nos grãos e vagens deste estádio fenológico, quando estes tecidos ocupavam as maiores proporções da massa seca das plantas.

No entanto, observa-se que até o estádio R8 ocorre a diminuição do acúmulo, visto que a planta entra em senescência perdendo as suas folhas. Assim, o Cu exportado pelos grãos variou entre 45,2 e 59,1 g ha⁻¹. A quantidade de Cu exportada pelos grãos correspondeu em média a 23% do total extraído pela cultura ao longo do ciclo.

Figura 12 - Marcha de absorção de cobre (g ha^{-1}) e Acúmulo Relativo (%) nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.



Fonte: Do autor (2020).

A Figura 13 apresenta os acúmulos de Mn pela soja para os tratamentos em diferentes estádios fenológicos, assim como a proporção relativa deste acúmulo em cada tecido da cultura.

O maior acúmulo de Mn foi observado nas vagens e grãos do estágio R6 quando se utilizou a suspensão concentrada. Este maior acúmulo é explicado pela maior massa seca de vagens e grãos e de caule e pecíolo, os quais foram, aproximadamente, 40 e 30% maiores em relação a média dos outros tratamentos, respectivamente, diferindo-se estatisticamente. Apesar disso, não foi observada a mesma diferença quanto aos teores de Mn nestes tecidos, o que pode ser explicado pelo efeito diluição decorrente da maior massa seca.

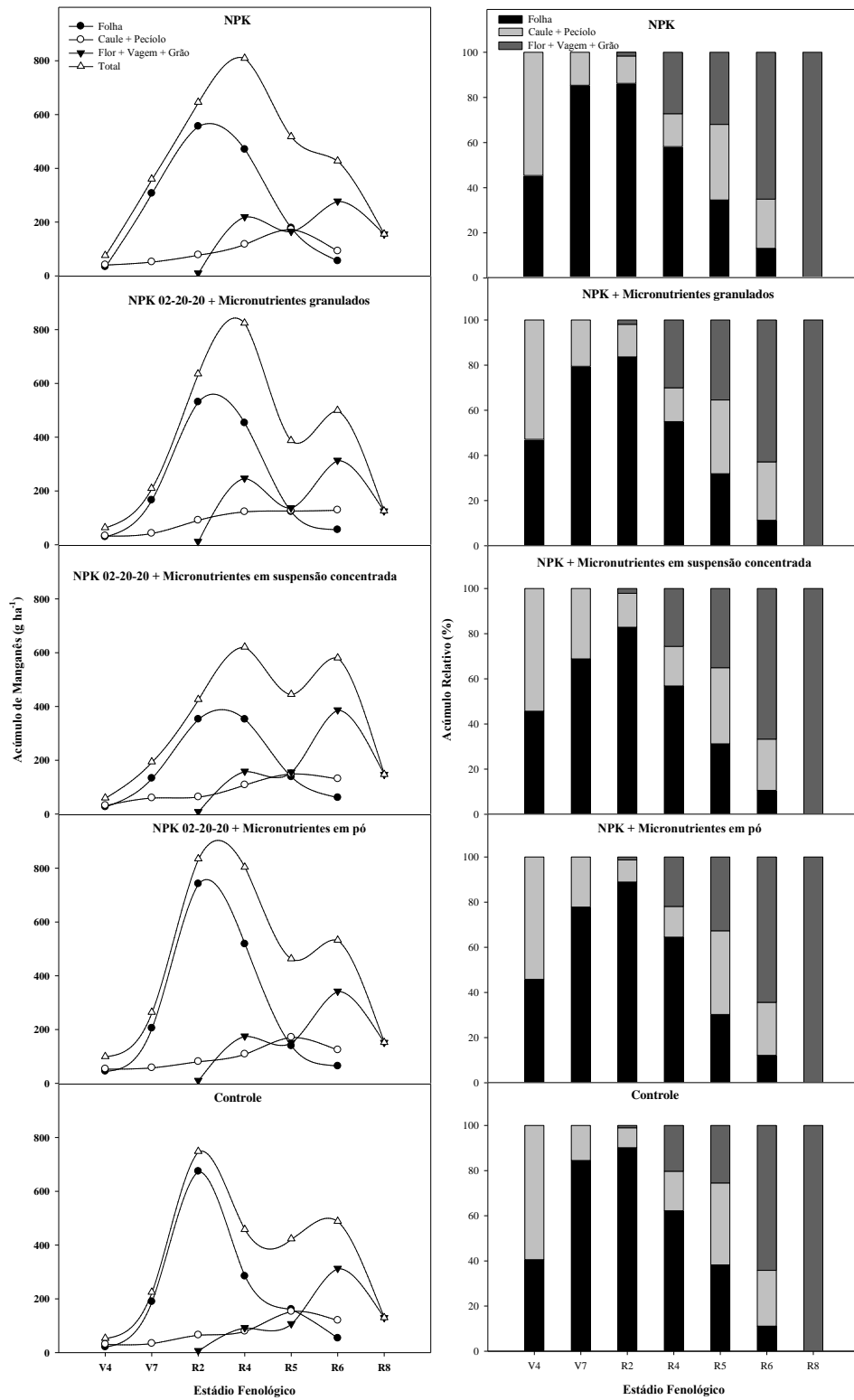
A máxima extração de manganês pela cultura ao longo do ciclo variou entre 600 e 830 g ha⁻¹.

Em relação ao acúmulo relativo, observou-se o aumento deste nutriente nas folhas até o estágio R2, a partir do qual esta proporção relativa diminuiu em decorrência do aumento expressivo na proporção de flores, vagens e, posteriormente, dos grãos.

Em todos os tratamentos, observa-se a rápida redução do Mn acumulado nas folhas coincidindo com o aumento expressivo do acúmulo deste nutriente nas flores, vagens e grãos a partir do estágio R2.

No estágio R8, no qual os grãos são colhidos, o acúmulo médio de manganês observado nestes grãos correspondeu a, aproximadamente, 18% da máxima extração deste nutriente ao longo do ciclo. Isso significa dizer que, menos de 20% do manganês extraído pela soja ao longo do ciclo é exportado pelos grãos no momento da colheita. Esta exportação variou entre 130 e 155 g ha⁻¹.

Figura 13 - Marcha de absorção de manganês (g ha^{-1}) e Acúmulo Relativo (%) nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.



Fonte: Do autor (2020).

A Figura 14 apresenta os acúmulos de Zn pela soja para os tratamentos em diferentes estádios fenológicos, assim como a proporção relativa deste acúmulo em cada tecido da cultura.

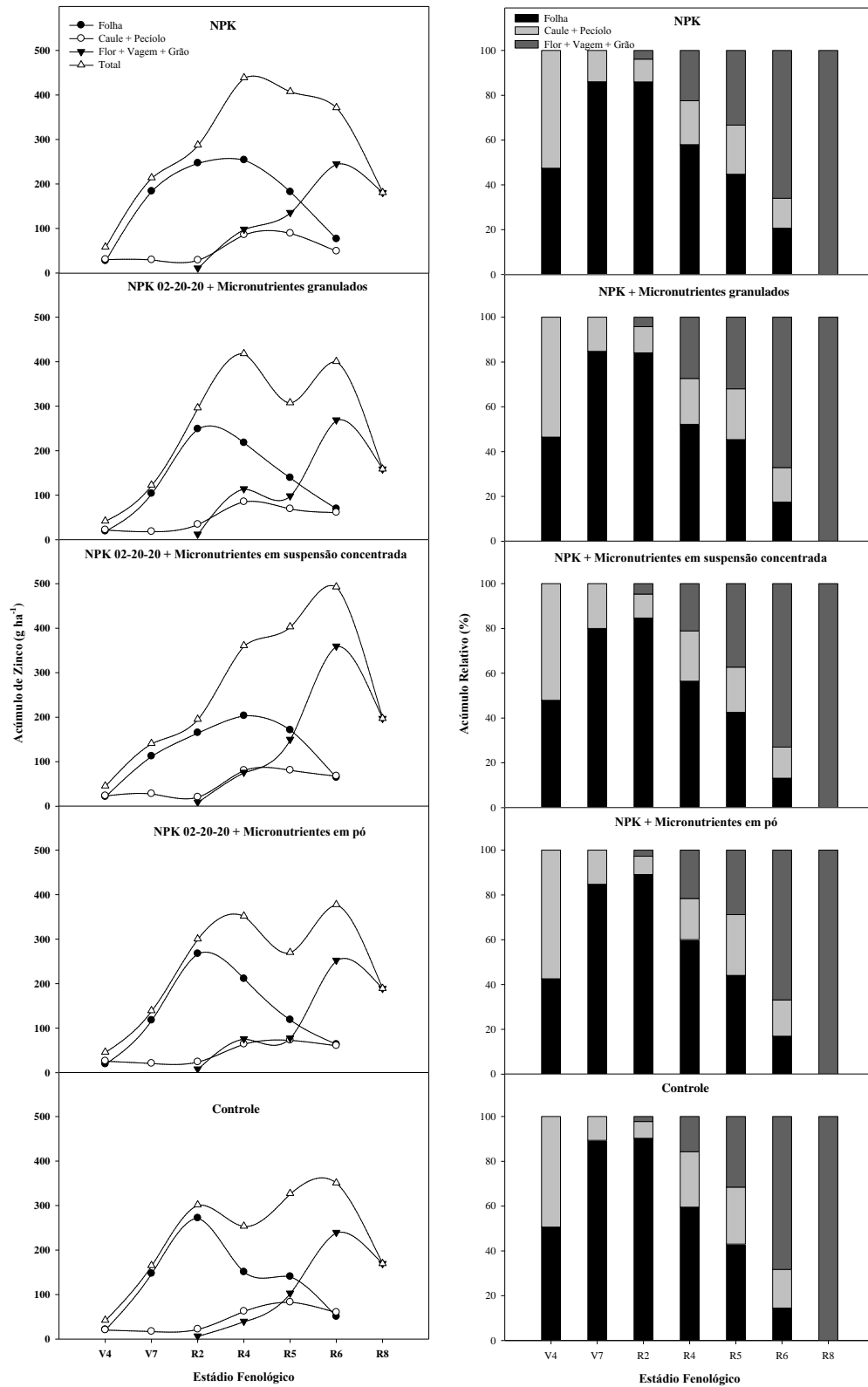
Os maiores acúmulos de Zn foram observados nas vagens e grãos nos estádios R5 e R6 quando se utilizou a suspensão concentrada. Esses acúmulos foram de 150,3 e 359,7 g ha⁻¹, respectivamente. Esses maiores valores acumulados para este tecido nestes dois estádios fenológicos, quando se utilizou a suspensão concentrada, são explicados pela maior massa seca obtida com este tratamento nestes momentos, diferindo-se estatisticamente. No entanto, os teores deste nutriente não se destacaram em relação aos outros tratamentos, o que indica a ocorrência do efeito diluição.

Em relação ao acúmulo relativo, observou-se o aumento deste nutriente nas folhas até o estágio R4, a partir do qual esta proporção relativa diminuiu em decorrência do aumento expressivo na proporção de flores, vagens e, posteriormente, dos grãos.

Em todos os tratamentos, observou-se a rápida redução do Zn acumulado nas folhas coincidindo com o aumento expressivo do acúmulo deste nutriente nas flores, vagens e grãos a partir do estágio R2.

No estágio R8, no qual os grãos são colhidos, o acúmulo médio de Zn observado nestes grãos correspondeu a aproximadamente 43% da máxima extração deste nutriente ao longo do ciclo. Este valor se refere a quantidade de Zn exportada pelos grãos no momento da colheita, o qual foi em média 180 g ha⁻¹, enquanto o máximo extraído ao longo do ciclo foi aproximadamente 418 g ha⁻¹.

Figura 14 - Marcha de absorção de zinco (g ha^{-1}) e Acúmulo Relativo (%) nos diferentes estádios fenológico e para os diferentes tratamentos.



Fonte: Do autor (2020).

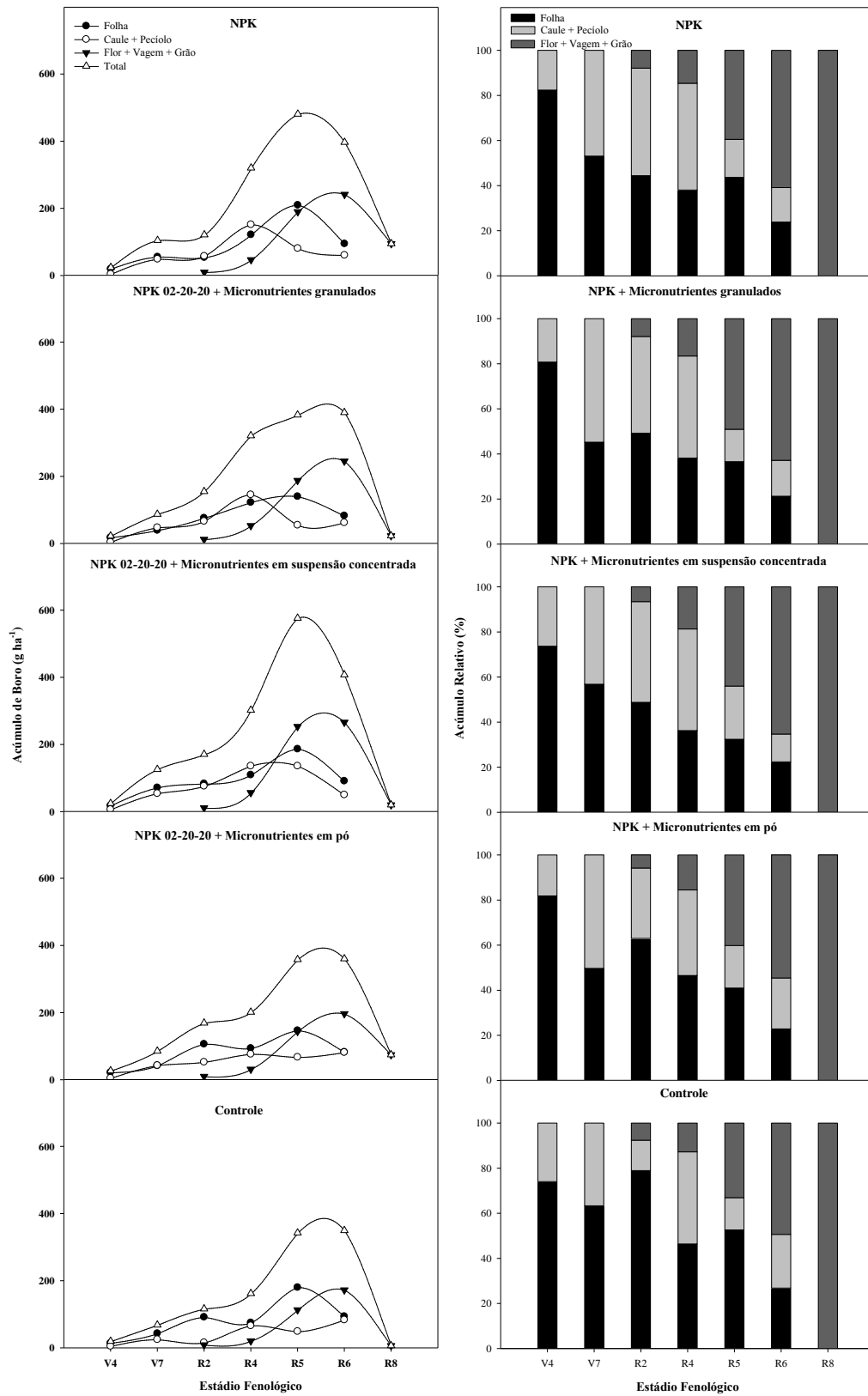
A Figura 15 apresenta os acúmulos de B pela soja para os tratamentos em diferentes estádios fenológicos, assim como a proporção relativa deste acúmulo em cada tecido da cultura.

O ponto de máxima extração de B pela soja ocorreu entre os estádios R5 e R6 para todos os tratamentos, atingindo em média 462 g ha^{-1} . No entanto, a média da extração deste nutriente pelos grãos no momento da colheita correspondeu a apenas 9,4% deste total extraído ao longo do ciclo da cultura.

A exportação de boro pelo grão no momento da colheita foi a menor em relação aos outros três micronutrientes fornecidos pelos tratamentos. Isso pode ser explicado pelo fato do boro ser um nutriente imóvel. Além disso, observou-se que o boro foi o nutriente acumulado em maior quantidade no caule e pecíolo, o que está relacionado a sua função de composição de parede celular.

A ordem decrescente da máxima exportação dos micronutrientes pela soja ao longo do ciclo foi $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{B}$. No entanto, a ordem de máxima extração destes micronutrientes observadas ao longo do ciclo foi $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$. Estas mesmas ordens de extração e exportação também foram observadas por Oliveira Junior et al (2016) ao estudarem a marcha de absorção de nutrientes por três genótipos de soja.

Figura 15 - Marcha de absorção de boro (g ha^{-1}) e Acúmulo Relativo (%) nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.



Fonte: Do autor (2020).

A tabela 9 apresenta a produtividade da soja (kg/ha) nos diferentes tratamentos. O NPK + micronutrientes em suspensão concentrada apresentou tendência em proporcionar a maior produtividade, mas não diferiu estatisticamente das produtividades obtidas com as outras formas de fornecimento de micronutrientes.

Tabela 9 - Produtividade da soja nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Produtividade kg ha ⁻¹
T1	5185 ± 174 A
T2	4563 ± 80 A
T3	5302 ± 149 A
T4	5101 ± 214 A
Controle	4653 ± 203 A
CV%	6,98

Legenda: *T1 - NPK 02-20-20; T2 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes granulados; T3 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em pó e Controle.
* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Do autor (2020).

As tabelas 10, 11, 12 e 13 apresentam todos os resultados de teores e acúmulos de Cu, Mn, Zn e B em diferentes tecidos e estádios fenológicos da soja e suas respectivas estatísticas. Notou-se que esses resultados são muito variáveis em relação a estes parâmetros, o que dificulta a observação de tendências relevantes.

Tabela 10 - Teor e acúmulo de cobre nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.

Estádio Fenológico	Teor de nutriente					Acúmulo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	mg kg ⁻¹					g ha ⁻¹				
	Folha									
V4	9,5 ± 0,7 a	10,5 ± 0,7 a	11,2 ± 1,0 a	10,4 ± 0,3 a	10,6 ± 0,3 a	4,0 ± 0,3 a	4,0 ± 0,8 a	4,4 ± 0,6 a	3,6 ± 0,3 a	3,2 ± 0,3 a
V7	21,4 ± 4,3 a	10,8 ± 0,6 b	9,6 ± 0,4 b	12,2 ± 2,0 b	14,6 ± 1,5 ab	37,8 ± 3,9 a	18,0 ± 2,2 b	21,8 ± 2,9 b	19,6 ± 3,1 b	17,2 ± 1,8 b
R2	17,5 ± 3,0 a	15,7 ± 2,1 a	12,8 ± 2,2 a	15,0 ± 1,4 a	19,6 ± 1,5 a	39,5 ± 6,9 a	39,9 ± 3,1 a	28,1 ± 4,7 a	32,0 ± 1,7 a	39,2 ± 4,7 a
R4	14,7 ± 2,3 a	11,5 ± 1,0 b	12,3 ± 1,0 b	13,1 ± 1,6 ab	12,3 ± 0,7 b	40,9 ± 7,7 a	31,4 ± 2,9 ab	32,0 ± 3,2 ab	24,2 ± 4,1 bc	20,2 ± 0,8 c
R5	10,8 ± 0,5 a	10,9 ± 0,5 a	11,8 ± 1,1 a	8,5 ± 0,4 b	8,8 ± 0,4 b	32,8 ± 2,2 ab	26,9 ± 2,0 bc	35,7 ± 2,9 a	18,1 ± 2,6 d	20,2 ± 0,9 cd
R6	30,9 ± 3,6 a	35,6 ± 4,8 a	36,8 ± 5,8 a	29,1 ± 1,9 a	27,3 ± 6,6 a	52,3 ± 7,8 ab	65,9 ± 11,3 ab	78,0 ± 13,4 a	51,8 ± 11,4 ab	43,2 ± 7,7 b
	Caule + Pecíolo									
V4	22,0 ± 2,4 a	18,9 ± 2,9 b	19,1 ± 2,1 ab	18,1 ± 1,3 b	21,0 ± 1,1 ab	5,8 ± 0,6 a	4,3 ± 0,2 bc	4,8 ± 0,2 b	3,8 ± 0,3 bc	3,7 ± 0,4 c
V7	7,6 ± 0,9 a	7,4 ± 1,5 a	5,8 ± 0,4 a	5,2 ± 0,5 a	5,1 ± 0,4 a	14,4 ± 0,9 a	12,5 ± 3,2 ab	13,5 ± 1,6 ab	8,3 ± 1,1 bc	5,6 ± 0,9 c
R2	4,3 ± 0,5 a	5,6 ± 0,6 a	5,1 ± 0,5 a	5,3 ± 1,0 a	4,8 ± 0,2 a	13,6 ± 2,2 ab	19,0 ± 2,1 a	15,5 ± 2,8 ab	13,5 ± 3,3 ab	10,5 ± 1,4 b
R4	7,8 ± 0,5 a	7,5 ± 0,3 a	7,8 ± 0,3 a	7,6 ± 0,3 a	7,8 ± 0,4 a	33,2 ± 3,4 a	33,8 ± 1,8 a	33,8 ± 1,2 a	20,6 ± 1,3 b	17,0 ± 1,0 b
R5	6,7 ± 0,2 a	7,2 ± 0,4 a	7,0 ± 0,6 a	7,1 ± 0,3 a	6,4 ± 0,3 a	33,3 ± 3,2 a	31,2 ± 3,4 ab	36,9 ± 2,4 a	24,9 ± 2,8 bc	23,0 ± 1,8 c
R6	6,4 ± 0,6 a	6,5 ± 0,4 a	5,9 ± 0,1 a	6,0 ± 0,1 a	7,9 ± 1,9 a	21,0 ± 3,3 a	24,9 ± 1,2 a	29,1 ± 1,9 a	20,6 ± 4,8 a	22,5 ± 3,6 a
	Flor + Vagem + Grão									
R2	31,0 ± 2,3 ab	23,4 ± 2,9 b	41,7 ± 9,9 a	28,5 ± 2,4 ab	25,5 ± 5,9 ab	8,4 ± 0,6 a	8,0 ± 1,3 ab	10,0 ± 1,7 a	6,9 ± 1,3 ab	4,2 ± 0,9 b
R4	11,9 ± 0,2 ab	13,6 ± 1,0 a	10,9 ± 0,3 b	12,2 ± 0,7 ab	11,9 ± 0,5 ab	15,9 ± 0,5 ab	19,3 ± 2,4 a	14,0 ± 1,1 b	9,0 ± 1,2 c	5,2 ± 1,3 c
R5	14,1 ± 1,5 d	24,3 ± 5,3 c	35,8 ± 0,8 b	26,5 ± 3,1 bc	76,0 ± 1,0 a	67,2 ± 7,8 b	104,9 ± 22,7 b	189,9 ± 9,9 a	88,9 ± 15,5 b	223,6 ± 10,8 a
R6	24,9 ± 3,4 b	24,8 ± 2,4 b	40,4 ± 4,4 a	28,8 ± 1,9 ab	31,0 ± 5,8 ab	151,1 ± 29,7 b	159,8 ± 8,7 b	366,0 ± 42,7 a	135,2 ± 10,9 b	171,0 ± 41,1 b
R8	12,8 ± 0,6 a	12,3 ± 0,4 a	13,0 ± 0,5 a	11,2 ± 0,2 b	11,3 ± 0,3 b	57,0 ± 3,4 a	48,4 ± 1,6 b	59,1 ± 3,3 a	48,9 ± 1,7 b	45,2 ± 2,7 b

Legenda: *T1 - NPK 02-20-20; T2 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes granulados; T3 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em pó e T5 - Controle. * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 11 - Teor e acúmulo de manganês nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.

Estádio Fenológico	Teor de nutriente					Acúmulo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	mg kg ⁻¹					g ha ⁻¹				
	Folha									
V4	82,1 ± 15,6 b	82,2 ± 7,2 b	69,3 ± 6,2 b	131,0 ± 23,9 a	72,1 ± 2,62 b	34,5 ± 6,7 ab	30,0 ± 3,5 ab	27,3 ± 3,4 b	45,7 ± 8,5 a	21,7 ± 1,6 b
V7	163,1 ± 16,2 a	97,8 ± 23,3 b	58,7 ± 6,8 c	127,0 ± 12,8 b	162,3 ± 12,8 a	307,6 ± 50,3 a	166,6 ± 50,9 bc	133,6 ± 23,7 c	205,7 ± 25,9 b	190,1 ± 9,7 bc
R2	248,0 ± 29,1 b	203,3 ± 13,9 bc	159,3 ± 9,5 c	345,8 ± 35,0 a	343,5 ± 41,6 a	556,8 ± 60,6 b	531,3 ± 56,4 b	353,1 ± 38,8 c	742,6 ± 69,9 a	674,8 ± 62,1 ab
R4	173,46 ± 30,6 b	164,8 ± 25,1 b	135,6 ± 11,0 b	279,6 ± 29,5 a	172,2 ± 15,2 b	471,1 ± 78,6 ab	453,5 ± 76,6 ab	353,0 ± 38,0 ab	518,7 ± 82, 8 a	285,0 ± 34,3 b
R5	58,3 ± 8,8 ab	49,5 ± 2,2 b	45,9 ± 1,83 b	66,5 ± 1,8 a	70,5 ± 7,1 a	179,0 ± 28,0 a	123,6 ± 12,5 b	138,9 ± 3,1 ab	140,1 ± 11,9 ab	161,8 ± 17,3 ab
R6	33,3 ± 0,9 ab	31,4 ± 1,5 b	29,4 ± 1,4 b	37,0 ± 1,5 a	33,2 ± 2,1 ab	56,3 ± 4,2 a	56,4 ± 2,8 a	61,6 ± 4,2 a	64,7 ± 11,2 a	54,2 ± 3,3 a
	Caule + Pecíolo									
V4	154,7 ± 23,0 bc	145,8 ± 17,1 bc	130,8 ± 15,8 c	252,3 ± 23,2 a	181,1 ± 23,0 b	41,5 ± 7,1 ab	33,6 ± 2,2 b	32,5 ± 1,9 b	54,1 ± 7,2 a	31,8 ± 4,3 b
V7	27,4 ± 2,7 b	26,0 ± 2,4 b	26,0 ± 0,8 b	37,0 ± 2,6 a	31,4 ± 3,0 ab	52,6 ± 3,9 ab	43,0 ± 6,8 bc	60,5 ± 6,7 a	58,6 ± 5,6 ab	34,9 ± 6,5 c
R2	24,9 ± 2,1 bc	27,2 ± 1,9 abc	22,0 ± 1,5 c	32,3 ± 2,9 a	30,2 ± 2,0 ab	78,4 ± 12,8 a	91,8 ± 6,4 a	64,2 ± 2,9 a	81,7 ± 13,5 a	66,2 ± 8,9 a
R4	27,9 ± 0,2 b	27,3 ± 1,9 b	25,1 ± 1,1 b	40,2 ± 2,1 a	37,3 ± 2,9 a	118,1 ± 7,8 a	123,4 ± 9,7 a	108,9 ± 7,3 a	109,3 ± 8,2 a	80,2 ± 3,4 b
R5	34,8 ± 5,2 bc	29,1 ± 3,1 c	28,5 ± 2,1 c	49,1 ± 3,5 a	43,0 ± 4,0 ab	173,35 ± 28,4 a	126,7 ± 21,2 a	150,1 ± 8,4 a	171,8 ± 20,9 a	153,8 ± 16,2 a
R6	28,4 ± 1,3 bc	33,6 ± 0,7 abc	26,6 ± 0,8 c	37,8 ± 2,5 ab	41,3 ± 6,7 a	93,1 ± 9,7 a	129,4 ± 2,5 a	131,8 ± 7,1 a	125,0 ± 20,8 a	120,8 ± 16,4 a
	Flor + Vagem + Grão									
R2	38,6 ± 2,3 b	35,5 ± 2,3 bc	33,7 ± 1,0 c	45,9 ± 0,9 a	43,0 ± 1,7 a	10,5 ± 1,0 ab	12,1 ± 1,7 a	8,9 ± 1,7 ab	10,8 ± 1,3 ab	7,5 ± 0,8 b
R4	166,3 ± 13,4 b	174,1 ± 16,6 b	125,3 ± 10,0 c	239,2 ± 22,8 a	222,5 ± 20,0 a	220,0 ± 8,3 ab	247,5 ± 32,3 a	159,1 ± 6,5 bc	175,9 ± 29,1 b	92,9 ± 19,0 c
R5	35,0 ± 4,9 ab	31,5 ± 1,5 b	29,4 ± 1,7 b	45,7 ± 5,4 a	36,4 ± 1,3 ab	165,4 ± 19,2 a	137,4 ± 11,9 ab	156,0 ± 10,8 ab	151,4 ± 22,6 ab	107,7 ± 8,5 b
R6	46,6 ± 0,9 c	48,4 ± 2,8 c	42,3 ± 2,0 c	72,4 ± 4,3 a	61,2 ± 5,0 b	278,2 ± 33,4 b	314,0 ± 9,5 ab	387,4 ± 46,5 a	342,7 ± 36,6 ab	313,4 ± 14,6 ab
R8	34,8 ± 2,5 a	32,0 ± 1,1 a	32,3 ± 1,3 a	34,7 ± 0,7 a	32,4 ± 1,4 a	155,5 ± 11,4 a	125,6 ± 5,6 c	147,4 ± 8,8 abc	152,2 ± 6,8 ab	130,1 ± 10,1 bc

Legenda: *T1 - NPK 02-20-20; T2 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes granulados; T3 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em pó e T5 - Controle. * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 12 - Teor e acúmulo de zinco nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.

Estádio Fenológico	Teor de nutriente					Acúmulo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	mg kg ⁻¹					g ha ⁻¹				
	Folha									
V4	65,3 ± 7,9 a	53,4 ± 5,6 a	55,2 ± 4,9 a	56,4 ± 6,2 a	70,8 ± 6,4 a	27,7 ± 4,0 a	19,5 ± 2,7 a	21,8 ± 3,0 a	19,6 ± 2,5 a	21,5 ± 2,8 a
V7	97,7 ± 7,9 b	61,7 ± 11,1 cd	49,7 ± 4,6 d	73,3 ± 5,3 c	125,6 ± 20,8 a	184,1 ± 27,6 a	104,0 ± 25,4 c	112,8 ± 17,7 c	118,0 ± 9,9 c	147,6 ± 24,1 b
R2	110,0 ± 8,5 bc	95,8 ± 8,5 cd	74,5 ± 4,2 d	124,9 ± 14,1 ab	137,7 ± 11,5 a	247,2 ± 17,3 a	249,1 ± 26,2 a	165,4 ± 18,4 b	267,7 ± 27,8 a	272,2 ± 19,5 a
R4	92,2 ± 15,2 ab	79,6 ± 10,7 b	78,2 ± 8,6 b	114,2 ± 12,8 a	92,2 ± 8,5 ab	254,12 ± 47,1 a	218,2 ± 29,8 ab	203,7 ± 26,8 ab	211,4 ± 35,1 ab	151,1 ± 13,8 b
R5	59,7 ± 4,0 a	56,3 ± 2,6 a	56,3 ± 1,4 a	55,4 ± 7,3 a	61,5 ± 3,5 a	182,5 ± 18,1 a	139,6 ± 11,9 ab	171,6 ± 10,4 a	119,1 ± 23,5 b	140,9 ± 8,4 ab
R6	46,1 ± 3,0 a	38,9 ± 1,0 b	30,9 ± 1,3 c	36,8 ± 2,0 bc	31,1 ± 1,0 c	76,8 ± 2,4 a	70,0 ± 3,1 a	64,8 ± 4,8 ab	64,0 ± 10,5 ab	50,9 ± 2,4 b
	Caule + Pecíolo									
V4	115,3 ± 14,5 abc	98,3 ± 14,1 bc	95,6 ± 11,4 c	124,3 ± 14,1 a	119,2 ± 10,3 ab	30,7 ± 4,2 a	22,5 ± 1,3 b	23,7 ± 1,1 ab	26,5 ± 3,5 ab	20,9 ± 2,0 b
V7	16,0 ± 0,3 a	11,6 ± 2,5 b	12,0 ± 0,8 ab	13,3 ± 2,6 ab	15,8 ± 0,9 ab	29,9 ± 2,7 a	18,7 ± 3,9 bc	28,2 ± 4,5 ab	21,2 ± 3,9 abc	17,6 ± 3,6 c
R2	9,7 ± 0,2 a	10,3 ± 2,5 a	7,1 ± 0,8 a	10,1 ± 2,6 a	10,2 ± 0,9 a	29,2 ± 3,6 a	34,7 ± 8,5 a	20,8 ± 2,3 a	24,5 ± 5,3 a	22,5 ± 3,9 a
R4	20,3 ± 0,2 c	19,0 ± 1,4 c	18,6 ± 1,4 c	23,9 ± 1,3 b	29,0 ± 2,4 a	86,1 ± 5,8 a	85,7 ± 5,9 a	80,9 ± 8,1 a	64,4 ± 2,3 b	62,7 ± 8,9 b
R5	18,0 ± 2,1 bc	16,0 ± 1,71 c	15,4 ± 1,2 c	21,1 ± 1,7 ab	23,3 ± 2,2 a	89,5 ± 12,4 a	69,8 ± 11,5 a	81,3 ± 5,2 a	73,2 ± 7,9 a	83,2 ± 8,8 a
R6	15,0 ± 0,4 b	16,0 ± 0,4 b	14,0 ± 1,6 b	18,0 ± 0,8 ab	20,6 ± 2,8 a	49,5 ± 5,5 a	61,7 ± 2,7 a	68,2 ± 4,9 a	61,2 ± 12,9 a	60,4 ± 7,0 a
	Flor + Vagem + Grão									
R2	41,0 ± 4,0 a	35,6 ± 2,7 a	35,2 ± 1,4 a	34,7 ± 1,7 a	39,1 ± 2,1 a	11,1 ± 0,9 a	12,5 ± 2,4 ab	9,1 ± 1,3 ab	8,2 ± 1,1 ab	6,8 ± 0,7 b
R4	73,9 ± 3,6 b	80,3 ± 6,4 b	60,1 ± 5,4 c	104,3 ± 8,1 a	95,5 ± 7,8 a	98,4 ± 3,6 ab	114,4 ± 15,1 a	76,2 ± 3,2 b	76,0 ± 10,1 b	39,9 ± 8,3 c
R5	28,1 ± 3,2 ab	22,8 ± 0,8 b	28,3 ± 3,6 ab	23,8 ± 2,7 b	35,1 ± 2,1 a	135,8 ± 18,9 ab	98,4 ± 4,6 bc	150,3 ± 20,7 a	77,8 ± 8,8 c	103,2 ± 7,1 bc
R6	41,4 ± 0,8 bc	41,3 ± 1,7 bc	39,3 ± 1,9 c	53,8 ± 2,1 a	46,6 ± 2,9 b	245,2 ± 23,4 b	269,0 ± 11,4 b	359,7 ± 41,9 a	252,5 ± 14,7 b	239,6 ± 21,5 b
R8	40,6 ± 0,8 a	40,4 ± 1,9 a	43,4 ± 1,5 a	43,3 ± 2,0 a	42,3 ± 1,3 a	180,6 ± 4,3 abc	158,8 ± 10,0 c	197,3 ± 3,8 a	189,3 ± 6,0 ab	169,7 ± 11,1 bc

Legenda: *T1 - NPK 02-20-20; T2 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes granulados; T3 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em pó e T5 - Controle. * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 13 - Teor e acúmulo de boro nos diferentes estádios fenológico e nos diferentes tratamentos.

Estádio Fenológico	Teor de nutriente					Acúmulo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	mg kg ⁻¹					g ha ⁻¹				
	Folha									
V4	46,8 ± 5,0 a	45,7 ± 5,8 a	47,5 ± 10,1 a	64,0 ± 13,0 a	49,9 ± 9,6 a	19,7 ± 2,5 ab	18,0 ± 4,7 ab	17,9 ± 2,9 ab	21,7 ± 4,1 a	14,4 ± 1,9 b
V7	30,2 ± 4,8 a	23,8 ± 7,2 a	31,9 ± 8,6 a	26,3 ± 6,3 a	37,5 ± 9,1 a	55,4 ± 8,5 a	39,5 ± 12,5 a	71,4 ± 18,2 a	42,3 ± 9,6 a	43,0 ± 9,1 a
R2	23,9 ± 1,2 c	30,0 ± 6,9 bc	38,7 ± 5,7 ab	49,4 ± 4,4 a	46,2 ± 3,1 a	53,8 ± 3,1 b	76,1 ± 19,0 ab	83,3 ± 9,2 ab	106,3 ± 8,4 a	91,6 ± 5,8 a
R4	44,7 ± 3,3 ab	44,8 ± 1,4 ab	42,6 ± 3,1 b	51,3 ± 1,5 a	45,8 ± 2,0 ab	121,8 ± 6,6 a	122,5 ± 5,0 a	109,6 ± 5,8 ab	93,6 ± 8,8 bc	75,0 ± 3,5 c
R5	69,4 ± 7,3 ab	55,6 ± 6,5 c	61,9 ± 4,9 bc	68,2 ± 3,1 ab	78,4 ± 4,3 a	209,7 ± 20,9 a	140,1 ± 23,4 c	186,6 ± 9,6 a	146,7 ± 20,6 bc	180,0 ± 12,4 ab
R6	55,5 ± 6,2 a	46,4 ± 5,0 a	42,2 ± 4,3 a	47,3 ± 7,1 a	57,1 ± 8,0 a	94,5 ± 14,7 a	82,9 ± 8,2 a	91,2 ± 16,2 a	82,3 ± 16,6 a	93,7 ± 13,8 a
	Caule + Pecíolo									
V4	15,5 ± 3,6 b	18,4 ± 1,9 ab	25,3 ± 3,0 ab	23,1 ± 4,4 ab	28,8 ± 3,7 a	4,2 ± 1,1 a	4,3 ± 0,4 a	6,4 ± 0,9 a	4,8 ± 0,8 a	5,0 ± 0,6 a
V7	25,1 ± 3,5 a	28,7 ± 4,5 a	23,9 ± 4,3 a	27,2 ± 2,6 a	22,4 ± 3,0 a	48,9 ± 8,3 ab	47,8 ± 9,5 ab	54,3 ± 8,4 a	42,8 ± 4,3 ab	24,9 ± 4,3 b
R2	19,4 ± 4,6 a	19,2 ± 2,2 a	24,7 ± 5,7 a	21,2 ± 3,9 a	7,3 ± 1,0 b	57,7 ± 11,5 a	66,5 ± 10,6 a	76,2 ± 22,5 a	52,7 ± 10,6 ab	15,6 ± 2,4 b
R4	35,7 ± 1,4 a	32,2 ± 1,7 a	31,5 ± 3,4 a	27,0 ± 5,4 a	30,3 ± 3,2 a	151,6 ± 12,5 a	145,5 ± 10,3 a	136,1 ± 12,6 a	76,3 ± 19,7 b	66,1 ± 8,9 b
R5	16,9 ± 4,5 ab	12,0 ± 4,7 c	25,4 ± 3,3 a	19,7 ± 2,5 ab	13,6 ± 4,4 ab	80,6 ± 20,4 ab	54,9 ± 23,2 b	136,1 ± 22,4 a	67,4 ± 7,7 b	49,1 ± 16,3 b
R6	18,4 ± 4,8 bc	16,2 ± 3,5 bc	9,7 ± 2,0 c	22,7 ± 4,2 ab	27,8 ± 1,5 a	60,6 ± 15,5 a	62,1 ± 13,5 a	50,1 ± 13,4 a	81,4 ± 26,0 a	83,3 ± 8,8 a
	Flor + Vagem + Grão									
R2	35,6 ± 5,9 b	36,8 ± 4,7 b	40,9 ± 4,6 ab	41,4 ± 4,6 ab	51,2 ± 0,5 a	9,5 ± 1,3 a	12,2 ± 1,3 a	11,2 ± 3,1 a	9,7 ± 1,0 a	8,8 ± 0,9 a
R4	34,8 ± 4,0 a	37,6 ± 1,9 a	43,4 ± 2,7 a	42,9 ± 0,9 a	43,7 ± 5,3 a	46,8 ± 6,5 ab	53,1 ± 5,0 a	56,4 ± 6,8 a	31,2 ± 3,0 bc	20,6 ± 6,7 c
R5	39,8 ± 1,6 a	43,8 ± 4,9 a	47,8 ± 6,7 a	42,4 ± 2,1 a	38,4 ± 1,1 a	189,8 ± 10,5 ab	187,7 ± 13,7 ab	253,4 ± 37,2 a	143,8 ± 24,4 bc	113,2 ± 7,8 c
R6	40,6 ± 0,7 ab	37,5 ± 1,0 abc	29,5 ± 1,6 c	42,6 ± 5,7 a	32,9 ± 1,3 bc	241,4 ± 26,4 ab	245,2 ± 11,5 ab	266,0 ± 19,3 a	196,4 ± 16,2 bc	172,5 ± 19,4 c
R8	21,4 ± 2,9 a	5,9 ± 1,8 bc	4,3 ± 1,1 bc	16,2 ± 8,3 ab	1,63 ± 0,0 c	94,6 ± 11,0 a	23,0 ± 6,5 bc	20,0 ± 5,8 bc	74,4 ± 38,5 ab	6,5 ± 0,3 c

Legenda: *T1 - NPK 02-20-20; T2 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes granulados; T3 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em pó e T5 - Controle. * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).
Fonte: Do autor (2020).

4.2 Experimentos em casa de vegetação

A Tabela 14 apresenta a massa seca acumulada na parte aérea e grãos de soja cultivada nos vasos com os solos arenoso e argiloso. Não houve uma tendência geral em aumentar a massa seca da parte aérea e dos grãos conforme se elevou as saturações por bases nos dois solos. Também não foram observados incrementos expressivos de massa seca destes tecidos em função dos diferentes tratamentos. No entanto, a massa seca do controle sempre foi menor que os tratamentos que receberam NPK ou NPK + micronutrientes.

Tabela 14 - Massa seca das diferentes partes da soja e nos diferentes tratamentos e saturações em solos de textura arenosa e argilosa.

Saturação por bases	Parte aérea					Grão				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	g vaso ⁻¹									
	Solo de textura arenosa									
40%	39,3 ± 2,2 Aab	35,3 ± 1,7 Ab	35,4 ± 1,8 Ab	35,9 ± 1,8 Ab	15,1 ± 0,4 Ba	6,9 ± 1,0 Aa	5,7 ± 0,8 Aba	4,9 ± 0,9 Bca	3,4 ± 0,5 Cc	1,5 ± 0,2 Da
50%	34,5 ± 4,1 Bb	37,27 ± 2,2 Aab	40,8 ± 1,3 Aab	42,7 ± 2,5 Aa	16,2 ± 0,4 Ca	3,6 ± 0,2 CDb	5,4 ± 0,2 Bca	6,6 ± 1,1 Ba	8,5 ± 1,1 Ab	1,9 ± 0,3 Da
60%	40,0 ± 0,7 Aab	44,0 ± 1,0 Aa	42,3 ± 1,7 Aa	42,1 ± 1,7 Aa	16,0 ± 0,3 Ba	6,4 ± 0,8 Aa	6,7 ± 0,9 Aa	6,3 ± 0,8 Aa	7,8 ± 0,8 Ab	1,8 ± 0,3 Ba
70%	41,3 ± 2,7 Ba	40,5 ± 2,1 Bab	37,0 ± 5,3 Bab	47,7 ± 1,9 Aa	17,4 ± 0,6 Ca	5,8 ± 0,4 Ba	6,5 ± 0,6 Ba	1,3 ± 0,0 Cb	12,5 ± 0,4 Aa	2,5 ± 0,6 Ca
	Solo de textura argilosa									
40%	51,7 ± 1,2 Aa	56,6 ± 2,5 Aa	55,9 ± 1,6 Aa	54,67 ± 1,4 Aa	11,9 ± 0,2 Ba	13,0 ± 1,4 Aab	14,5 ± 0,9 Aa	15,3 ± 0,3 Aa	14,4 ± 1,0 Aa	0,2 ± 0,0 Ba
50%	43,5 ± 2,8 Bb	55,4 ± 1,0 Aa	55,3 ± 2,6 Aa	52,8 ± 1,6 Aab	11,8 ± 0,1 Ca	10,4 ± 1,8 Bbc	14,0 ± 1,4 Aa	12,4 ± 1,0 Abab	13,3 ± 0,4 Aba	0,07 ± 0,0 Ca
60%	45,8 ± 2,2 Bb	52,6 ± 2,6 Aa	54,2 ± 1,4 Aa	54,5 ± 1,8 Aa	12,3 ± 0,2 Ca	13,9 ± 0,9 Aa	13,1 ± 1,4 Aab	12,1 ± 1,0 Ab	13,3 ± 1,7 Aa	0,19 ± 0,1 Ba
70%	46,1 ± 2,8 Bb	55,0 ± 3,6 Aa	56,0 ± 1,8 Aa	48,9 ± 2,8 Bb	12,0 ± 0,1 Ca	9,5 ± 1,8 Ac	10,6 ± 1,6 Ab	6,5 ± 0,6 Bc	4,1 ± 1,0 Bb	0,1 ± 0,0 Ca

Legenda: *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05). T1- NPK; T2- NPK + Micronutrientes granulados; T3- NPK + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + Micronutrientes em pó e T5- Controle.

Fonte: Do autor (2020).

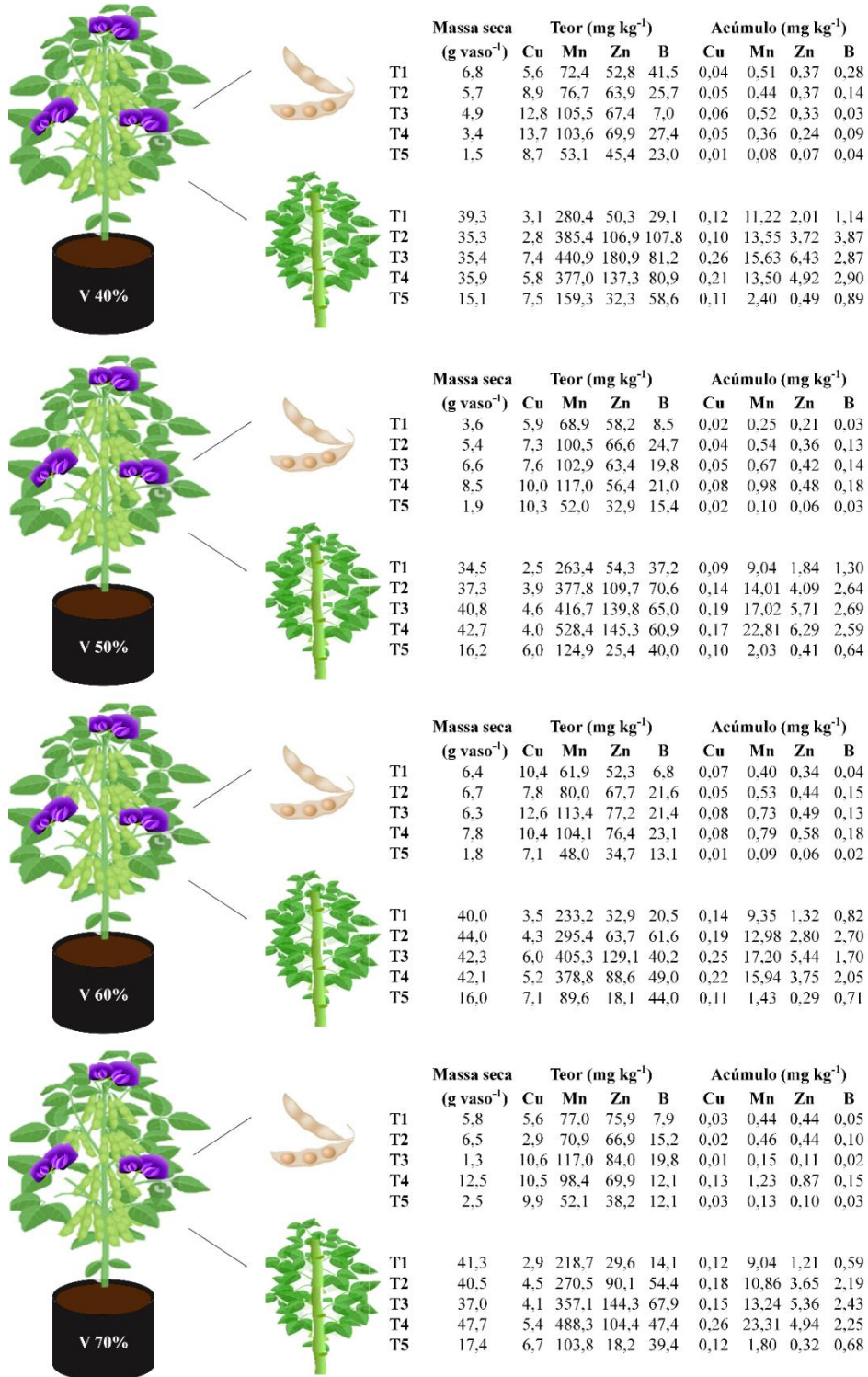
A Figura 16 apresenta os valores médios de massa seca, teor e acúmulo de cada micronutriente pelas plantas de soja cultivadas em solo arenoso previamente corrigido para se atingir as diferentes saturações por bases. Esses parâmetros foram avaliados separadamente para a parte aérea e grãos.

As maiores saturações por bases não proporcionaram maiores acúmulos de micronutrientes, o pode ser justificado pela ausência de acréscimos na massa seca e nos teores destes nutrientes na parte aérea e grãos de soja cultivada nestas diferentes condições.

Nenhum tratamento se destacou quanto a esses mesmos parâmetros avaliados. No entanto, os resultados de massa seca, teores e acúmulo dos tratamentos que receberam fertilizantes sempre foram maiores em relação ao controle.

As quantidades de Cu, Mn, Zn e B extraídas pelas plantas foram, em média, 0,22; 14,84; 4,4; 2,26 mg vaso⁻¹, respectivamente, para os diferentes tratamentos quando somados os totais acumulados na parte aérea e nos grãos. Assim, a ordem decrescente de extração para esses micronutrientes foi Mn > Zn > B e Cu. Esses valores de micronutrientes extraídos correspondem a aproximadamente 1,9; 64,5; 19,12 e 32,9 % em relação as quantidades de micronutrientes aplicadas inicialmente, as quais foram 11,2; 23,01; 23,01 e 6,87 mg vaso⁻¹, respectivamente.

Figura 16 - Esquema das diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases no solo arenoso.



Legenda: T1-NPK; T2- NPK + micronutrientes granulados; T3- NPK + micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + micronutriente em pó; T5- controle.

Fonte: Do autor (2020).

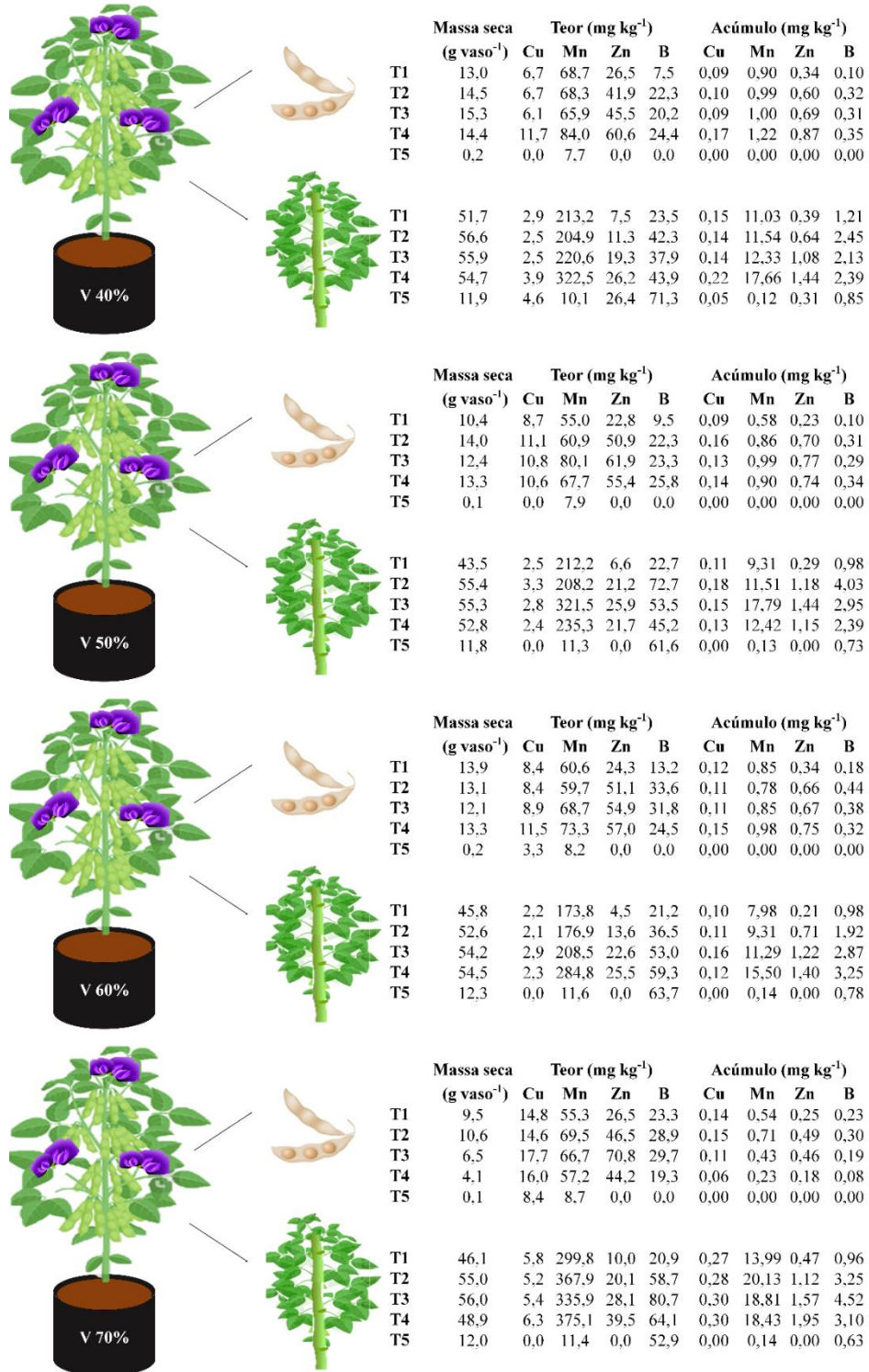
A Figura 17 apresenta os valores médios de massa seca, teor e acúmulo de cada micronutriente pelas plantas de soja cultivadas em solo argiloso previamente corrigido para se atingir as diferentes saturações por bases. Esses parâmetros foram avaliados separadamente para a parte aérea e grãos.

As maiores saturações por bases não proporcionaram maiores acúmulos de micronutrientes neste solo, o pode ser justificado também pela ausência de acréscimos na massa seca e nos teores destes nutrientes na parte aérea e grãos de soja cultivada nestas diferentes condições.

Nenhum tratamento se destacou quanto a esses mesmos parâmetros avaliados. No entanto, os resultados de massa seca, teores e acúmulo dos tratamentos que receberam fertilizantes foram sempre maiores em relação ao controle.

As quantidades de Cu, Mn, Zn e B extraídas pelas plantas foram, em média, 0,34; 17,44; 1,41; 2,8 mg vaso⁻¹, respectivamente, para os diferentes tratamentos quando somados os totais acumulados na parte aérea e nos grãos. Assim, a ordem decrescente de extração para esses micronutrientes foi Mn > B > Zn e Cu. Esses valores de micronutrientes extraídos correspondem a aproximadamente 3,0; 75,8; 6,12 e 40,8 % em relação as quantidades de micronutrientes aplicadas inicialmente, as quais foram 11,2; 23,01; 23,01 e 6,87 mg vaso⁻¹, respectivamente.

Figura 17- Esquema das diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases no solo argiloso.



Legenda: T1-NPK; T2- NPK + micronutriente granulado; T3- NPK + micronutriente em suspensão concentrada; T4- NPK + micronutriente em pó; T5- controle.

Fonte: Do autor (2020).

As Tabelas 15, 16, 17 e 18 apresentam todos os resultados de teores e acúmulos de Cu, Mn, Zn e B e suas respectivas estatísticas para os diferentes solos e saturações por bases. Notou-se que esses resultados são muito variáveis em relação a estes parâmetros, o que dificulta a observação de tendências relevantes.

Tabela 15 - Teor e acúmulo de cobre nas diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.

Saturação por bases	Teor do nutrientes					Acúmulo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	mg kg ⁻¹					mg vaso ⁻¹				
Solo de textura arenosa										
Parte aérea										
40%	3,06 ± 0,51 Ca	2,76 ± 0,57 Cb	7,43 ± 0,43 Aa	5,78 ± 0,54 Ba	7,53 ± 0,78 Aa	0,12 ± 0,02 Ba	0,10 ± 0,02 Bb	0,26 ± 0,02 Aa	0,21 ± 0,02 Aab	0,11 ± 0,01Ba
50%	2,48 ± 0,27 Ca	3,86 ± 0,43 Bab	4,58 ± 0,22 Abc	4,00 ± 0,04 Bb	6,02 ± 0,25 Ab	0,09 ± 0,02 Ba	0,14 ± 0,02 Abab	0,19 ± 0,01 Ab	0,17 ± 0,01 Ab	0,10 ± 0,00 Ba
60%	3,50 ± 0,14 Da	4,30 ± 0,23 Cda	6,00 ± 0,30 Ab	5,16 ± 0,79 Bcab	7,13 ± 0,34 Aab	0,14 ± 0,00 Cda	0,19 ± 0,01 Bca	0,25 ± 0,02 Aa	0,22 ± 0,04 ABab	0,11 ± 0,00 Da
70%	2,88 ± 0,28 Da	4,54 ± 0,92 Bca	4,10 ± 0,22 CDc	5,43 ± 0,51 Aba	6,68 ± 0,64 Aab	0,12 ± 0,01 Ca	0,18 ± 0,03 Ba	0,15 ± 0,03 BCb	0,26 ± 0,03 Aa	0,12 ± 0,01 Ca
Grão										
40%	5,60 ± 0,52 Cb	8,86 ± 1,08 Ba	12,79 ± 1,36 Aa	13,71 ± 0,53 Aa	8,73 ± 0,43 Ba	0,04 ± 0,01 Bb	0,05 ± 0,01 Aba	0,06 ± 0,01 Aab	0,05 ± 0,01 Abc	0,01 ± 0,00 Ca
50%	5,93 ± 0,18 Cb	7,26 ± 0,39 Bca	7,56 ± 0,20 ABCb	10,03 ± 0,85 Ab	10,32 ± 0,95 Aba	0,02 ± 0,00 Cb	0,04 ± 0,00 Bcab	0,05 ± 0,01 Bb	0,08 ± 0,01 Ab	0,02 ± 0,00 Ca
60%	10,36 ± 1,39 ABCa	7,77 ± 0,68 Ca	12,60 ± 1,59 Aa	10,39 ± 1,03 Abb	7,12 ± 0,69 Bca	0,07 ± 0,01 Aba	0,05 ± 0,00 Ba	0,08 ± 0,01 Aa	0,08 ± 0,01 Ab	0,01 ± 0,00 Ca
70%	5,59 ± 0,64 Bb	2,86 ± 0,42 Cb	10,64 ± 0,56 Aa	10,49 ± 1,64 Ab	9,95 ± 0,24 Aa	0,03 ± 0,00 Bb	0,02 ± 0,00 Bb	0,01 ± 0,00 Bc	0,13 ± 0,02 Aa	0,03 ± 0,01 Ba
Solo de textura argilosa										
Parte aérea										
40%	2,89 ± 0,23 BCb	2,51 ± 0,64 Cbc	2,54 ± 0,03 Cb	3,94 ± 0,48 Abb	4,57 ± 0,00 Aa	0,15 ± 0,01 Bb	0,14 ± 0,03 Bbc	0,14 ± 0,01 Bb	0,22 ± 0,03 Ab	0,05 ± 0,00 Ca
50%	2,51 ± 0,42 Ab	3,26 ± 0,55 Ab	2,76 ± 0,40 Ab	2,39 ± 0,25 Ac	0,00 ± 0,00 Bb	0,11 ± 0,02 Bb	0,18 ± 0,03 Ab	0,15 ± 0,02 Abb	0,13 ± 0,02 Abc	0,00 ± 0,00 Ca
60%	2,17 ± 0,31 Ab	2,06 ± 0,09 Ac	2,94 ± 0,41 Ab	2,29 ± 0,08 Ac	0,00 ± 0,00 Bb	0,10 ± 0,02 Bb	0,11 ± 0,00 Abc	0,16 ± 0,02 Ab	0,12 ± 0,01 Abc	0,00 ± 0,00 Ca
70%	5,83 ± 0,52 Aa	5,17 ± 0,12 Aa	5,42 ± 0,27 Aa	6,25 ± 1,11 Aa	0,00 ± 0,00 Bb	0,27 ± 0,02 Aa	0,28 ± 0,01 Aa	0,30 ± 0,02 Aa	0,30 ± 0,05 Aa	0,00 ± 0,00 Ba
Grão										
40%	6,66 ± 0,39 Bb	6,71 ± 0,66 Bc	6,12 ± 0,43 Bc	11,68 ± 1,07 Ab	0,00 ± 0,00 Cc	0,09 ± 0,01 Ba	0,10 ± 0,01 Bb	0,09 ± 0,01 Ba	0,17 ± 0,02 Aa	0,00 ± 0,00 Ca
50%	8,74 ± 0,70 Ab	11,05 ± 1,66 Ab	10,80 ± 1,23 Ab	10,64 ± 2,07 Ab	0,00 ± 0,00 Bc	0,09 ± 0,01 Ba	0,16 ± 0,03 Aa	0,13 ± 0,02 Aba	0,14 ± 0,03 Aba	0,00 ± 0,00 Ca
60%	8,45 ± 0,67 Ab	8,43 ± 1,34 Abc	8,89 ± 0,68 Abc	11,52 ± 0,46 Ab	3,28 ± 0,00 Bb	0,12 ± 0,01 Aa	0,11 ± 0,01 Aab	0,11 ± 0,01 Aa	0,15 ± 0,02 Aa	0,00 ± 0,00 Ba
70%	14,79 ± 2,78 Aa	14,59 ± 1,29 Aa	17,66 ± 1,13 Aa	15,96 ± 0,63 Aa	8,43 ± 0,00 Ba	0,14 ± 0,04 Aa	0,15 ± 0,02 Aa	0,11 ± 0,02 Aba	0,06 ± 0,01 Bb	0,00 ± 0,00 Ca

Legenda: *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). T1- NPK; T2- NPK + Micronutrientes granulados; T3- NPK + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + Micronutrientes em pó e T5- Controle.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 16 - Teor e acúmulo de manganês nas diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.

Saturação por bases	Teor do nutrientes mg kg ⁻¹					Acúmulo mg vaso ⁻¹				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Solo de textura arenosa										
Parte aérea										
40%	280,40 ± 32,51 Ca	385,40 ± 15,68 Ba	440,87 ± 13,19 Aa	377,00 ± 15,16 Bb	159,27 ± 5,69 Da	11,22 ± 1,84 Ba	13,55 ± 0,40 Aba	15,63 ± 1,11 Aab	13,50 ± 0,56 Abb	2,40 ± 0,04 Ca
50%	263,40 ± 18,79 Cab	377,83 ± 16,60 Ba	416,70 ± 26,51 Ba	528,40 ± 38,37 Aa	124,93 ± 0,98 Dab	9,04 ± 1,08 Ca	14,01 ± 0,59 Ba	17,02 ± 1,23 Ba	22,81 ± 2,89 Aa	2,03 ± 0,06 Da
60%	233,18 ± 12,94 Cab	295,43 ± 18,32 Bb	405,33 ± 26,14 Aab	378,83 ± 12,82 Ab	89,56 ± 4,54 Db	9,35 ± 0,63 Ca	12,98 ± 0,70 Ba	17,20 ± 1,58 Aa	15,94 ± 0,91 Abb	1,43 ± 0,06 Da
70%	218,73 ± 13,84 Cb	270,45 ± 24,03 Cb	357,10 ± 2,94 Bb	488,25 ± 15,82 Aa	103,82 ± 6,49 Db	9,04 ± 0,79 Ca	10,86 ± 0,83 Bca	13,24 ± 1,91 Bb	23,31 ± 1,28 Aa	1,80 ± 0,11 Da
Grão										
40%	72,44 ± 5,41 Ba	76,65 ± 3,50 Bb	105,51 ± 3,75 Aa	103,57 ± 5,02 Aab	53,09 ± 4,10 Ca	0,51 ± 0,12 Aa	0,44 ± 0,07 Aa	0,52 ± 0,10 Ab	0,36 ± 0,06 Ad	0,08 ± 0,01 Ba
50%	68,90 ± 3,76 Ba	100,50 ± 7,17 Aa	102,88 ± 7,49 Aa	116,97 ± 4,64 Aa	52,02 ± 3,44 Ba	0,25 ± 0,02 Cb	0,54 ± 0,05 Ba	0,67 ± 0,12 Bab	0,98 ± 0,10 Ab	0,10 ± 0,01 Ca
60%	61,90 ± 5,97 Ca	79,96 ± 1,94 Bb	113,37 ± 5,24 Aa	104,11 ± 12,04 Aab	48,03 ± 4,28 Ca	0,40 ± 0,08 Bab	0,53 ± 0,07 Ba	0,73 ± 0,12 Aa	0,79 ± 0,02 Ac	0,09 ± 0,02 Ca
70%	77,03 ± 8,16 Ca	70,87 ± 1,93 Cb	116,98 ± 11,35 Aa	98,40 ± 7,47 Bb	52,12 ± 1,85 Da	0,44 ± 0,03 Ba	0,46 ± 0,04 Ba	0,15 ± 0,02 Cc	1,23 ± 0,06 Aa	0,13 ± 0,03 Ca
Solo de textura argilosa										
Parte aérea										
40%	213,20 ± 13,38 Bb	204,90 ± 10,86 Bb	220,55 ± 3,74 Bb	322,47 ± 13,22 Ab	10,07 ± 1,14 Ca	11,03 ± 0,75 Bb	11,54 ± 0,51 Bb	12,33 ± 0,34 Bb	17,66 ± 1,02 Aab	0,12 ± 0,01 Ca
50%	212,17 ± 10,62 Bb	208,20 ± 14,41 Bb	321,50 ± 9,35 Aa	235,27 ± 6,49 Bd	11,34 ± 0,43 Ca	9,31 ± 1,03 Cbc	11,51 ± 0,68 BCb	17,79 ± 1,08 Aa	12,42 ± 0,48 Bc	0,13 ± 0,00 Da
60%	173,78 ± 5,72 Cc	176,87 ± 2,76 BCb	208,45 ± 0,71 Bb	284,80 ± 3,96 Ac	11,60 ± 0,47 Da	7,98 ± 0,56 Cc	9,3 ± 0,51 BCb	11,29 ± 0,27 Bb	15,50 ± 0,44 Ab	0,14 ± 0,00 Da
70%	299,83 ± 30,45 Ca	367,93 ± 16,03 Aba	335,90 ± 8,65 Ba	375,13 ± 23,59 Aa	11,41 ± 0,68 Da	13,99 ± 2,02 Ba	20,13 ± 1,14 Aa	18,81 ± 0,82 Aa	18,43 ± 1,94 Aa	0,14 ± 0,01 Ca
Grão										
40%	68,65 ± 2,33 Ba	68,32 ± 3,06 Bab	65,91 ± 3,21 Bb	83,99 ± 3,67 Aa	7,73 ± 0,50 Ca	0,90 ± 0,12 Ba	0,99 ± 0,07 Aba	1,00 ± 0,03 Aba	1,22 ± 0,13 Aa	0,00 ± 0,00 Ca
50%	55,02 ± 3,23 Cb	60,95 ± 1,83 Bcab	80,09 ± 5,73 Aa	67,74 ± 2,47 Bb	7,93 ± 0,25 Da	0,58 ± 0,12 Bb	0,86 ± 0,10 Aab	0,99 ± 0,11 Aa	0,90 ± 0,05 Ab	0,00 ± 0,00 Ca
60%	60,61 ± 3,18 Bab	59,68 ± 3,51 Bb	68,75 ± 5,09 Abb	73,25 ± 4,22 Ab	8,15 ± 0,22 Ca	0,85 ± 0,09 Ba	0,78 ± 0,10 Bab	0,85 ± 0,13 Ba	0,98 ± 0,14 Bab	0,00 ± 0,00 Ca
70%	55,33 ± 5,31 Cb	69,47 ± 5,82 Aa	66,67 ± 1,43 Abb	57,19 ± 4,99 BCc	8,73 ± 0,11 Da	0,54 ± 0,14 Abb	0,71 ± 0,08 Ab	0,43 ± 0,04 BCb	0,23 ± 0,05 CDc	0,00 ± 0,00 Da

Legenda: *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). T1- NPK; T2- NPK + Micronutrientes granulados; T3- NPK + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + Micronutrientes em pó e T5- Controle.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 17 - Teor e acúmulo de zinco nas diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.

Saturação por bases	Teor do nutrientes					Acúmulo				
	T1	T2	T3 mg kg ⁻¹	T4	T5	T1	T2	T3 mg vaso ⁻¹	T4	T5
Solo de textura arenosa										
Parte aérea										
40%	50,28 ± 4,76 Dab	106,89 ± 15,85 Cab	180,90 ± 7,02 Aa	137,27 ± 12,59 Ba	32,30 ± 3,40 Da	2,01 ± 0,30 Da	3,72 ± 0,45 Cab	6,43 ± 0,53 Aa	4,92 ± 0,47 Bb	0,49 ± 0,06 Ea
50%	54,31 ± 4,62 Ca	109,65 ± 0,47 Ba	139,83 ± 1,17 Ab	145,30 ± 12,79 Aa	25,39 ± 0,18 Da	1,84 ± 0,17 Ca	4,09 ± 0,23 Ba	5,71 ± 0,15 Aab	6,29 ± 0,87 Aa	0,41 ± 0,01 Da
60%	32,92 ± 2,03 Dbc	63,66 ± 2,99 Cc	129,10 ± 7,74 Ab	88,61 ± 6,30 Bb	18,11 ± 2,75 Da	1,32 ± 0,10 Ca	2,80 ± 0,14 Bb	5,44 ± 0,28 Aab	3,75 ± 0,37 Bc	0,29 ± 0,04 Da
70%	29,58 ± 2,23 Dc	90,09 ± 3,70 Cb	144,30 ± 3,76 Ab	104,35 ± 9,24 Bb	18,23 ± 1,24 Da	1,21 ± 0,09 Ca	3,65 ± 0,27 Bab	5,36 ± 0,82 Ab	4,94 ± 0,34 Ab	0,32 ± 0,02 Ca
Grão										
40%	52,78 ± 2,26 Bb	63,90 ± 3,80 Aa	67,35 ± 2,08 Abc	69,93 ± 1,69 Aa	45,39 ± 4,67 Ba	0,37 ± 0,07 Aba	0,37 ± 0,06 Aa	0,33 ± 0,05 Abb	0,24 ± 0,05 Bc	0,07 ± 0,01 Ca
50%	58,21 ± 1,16 Ab	66,61 ± 3,20 Aa	63,42 ± 5,02 Ac	56,45 ± 5,02 Ab	32,88 ± 1,88 Bb	0,21 ± 0,01 Bb	0,36 ± 0,03 Aa	0,42 ± 0,03 A ab	0,48 ± 0,08 Ab	0,06 ± 0,01 Ca
60%	52,31 ± 5,13 Bb	67,70 ± 4,14 Aa	77,17 ± 1,57 Aab	76,35 ± 6,41 Aa	34,71 ± 1,52 Aab	0,34 ± 0,06 Ca	0,44 ± 0,04 Bca	0,49 ± 0,06 Aba	0,58 ± 0,01 Ab	0,06 ± 0,01 Da
70%	75,93 ± 2,73 Aba	66,86 ± 3,90 Ba	84,00 ± 4,33 Aa	69,89 ± 8,04 Ba	38,23 ± 2,80 Cab	0,44 ± 0,03 Ba	0,44 ± 0,06 Ba	0,11 ± 0,01 Cc	0,87 ± 0,08 Aa	0,10 ± 0,03 Ca
Solo de textura argilosa										
Parte aérea										
40%	7,54 ± 0,49 Cab	11,27 ± 0,89 Cb	19,26 ± 0,65 Bc	26,21 ± 2,55 Ab	26,41 ± 0,00 Aa	0,39 ± 0,02 Cda	0,64 ± 0,08 Cb	1,08 ± 0,04 Bc	1,44 ± 0,16 Ab	0,31 ± 0,01 Da
50%	6,59 ± 0,41 Cab	21,16 ± 1,91 Ba	25,90 ± 1,79 Aab	21,73 ± 1,27 Bc	0,00 ± 0,00 Db	0,29 ± 0,04 Ba	1,18 ± 0,12 Aa	1,44 ± 0,14 Aab	1,15 ± 0,09 Ac	0,00 ± 0,00 Bb
60%	4,48 ± 0,51 Cb	13,55 ± 1,01 Bb	22,56 ± 0,35 Abc	25,53 ± 1,39 Abc	0,00 ± 0,00 Db	0,21 ± 0,03 Ca	0,71 ± 0,04 Bb	1,22 ± 0,05 Abc	1,40 ± 0,12 Abc	0,00 ± 0,00 Cb
70%	10,04 ± 1,11 Da	20,13 ± 3,44 Ca	28,05 ± 1,05 Ba	39,50 ± 2,38 Aa	0,00 ± 0,00 Eb	0,47 ± 0,07 Da	1,12 ± 0,23 Ca	1,57 ± 0,05 Ba	1,95 ± 0,22 Aa	0,00 ± 0,00 Eb
Grão										
40%	26,52 ± 2,42 Ca	41,86 ± 1,11 Bb	45,47 ± 0,58 Bc	60,63 ± 7,83 Aa	0,00 ± 0,00 Da	0,34 ± 0,04 Ca	0,60 ± 0,03 Bab	0,69 ± 0,01 Ba	0,87 ± 0,13 Aa	0,00 ± 0,00 Da
50%	22,79 ± 1,80 Ca	50,94 ± 2,80 Ba	61,85 ± 5,71 Ab	55,38 ± 2,05 Aba	0,00 ± 0,00 Da	0,23 ± 0,04 Ba	0,70 ± 0,05 Aa	0,77 ± 0,11 Aa	0,74 ± 0,04 Aa	0,00 ± 0,00 Ca
60%	24,26 ± 1,37 Ba	51,10 ± 3,76 Aa	54,88 ± 0,88 Ab	56,99 ± 2,00 Aa	0,00 ± 0,00 Ca	0,34 ± 0,04 Ba	0,66 ± 0,05 Aa	0,67 ± 0,06 Aa	0,75 ± 0,07 Aa	0,00 ± 0,00 Ca
70%	26,46 ± 1,22 Ca	46,46 ± 3,57 Bab	70,81 ± 1,63 Aa	44,18 ± 3,89 Bb	0,00 ± 0,00 Da	0,25 ± 0,05 Ba	0,49 ± 0,07 Ab	0,46 ± 0,04 Ab	0,18 ± 0,04 Bb	0,00 ± 0,00 Ca

Legenda: *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). T1- NPK; T2- NPK + Micronutrientes granulados; T3- NPK + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + Micronutrientes em pó e T5- Controle.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 18. Teor e acúmulo de boro nas diferentes partes da soja para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.

Saturação por bases	Teor do nutrientes					Acúmulo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	mg kg ⁻¹					mg vaso ⁻¹				
Solo de textura arenosa										
Parte aérea										
40%	29,14 ± 1,16 Dab	107,77 ± 16,83 Aa	81,21 ± 1,38 Ba	80,88 ± 6,85 Ba	58,58 ± 2,46 Ca	1,14 ± 0,04 Ca	3,87 ± 0,77 Aa	2,87 ± 0,15 Ba	2,90 ± 0,26 Ba	0,89 ± 0,05 Ca
50%	37,24 ± 5,75 Ba	70,64 ± 1,21 Ab	64,95 ± 11,21 Aa	60,87 ± 2,34 Ab	39,97 ± 8,44 Bb	1,30 ± 0,29 Ba	2,64 ± 0,18 Ab	2,69 ± 0,53 Aa	2,59 ± 0,10 Aab	0,64 ± 0,12 Ba
60%	20,49 ± 1,27 Cab	61,61 ± 6,17 Ab	40,15 ± 1,51Bb	49,03 ± 3,22 Abb	44,05 ± 5,00 Abab	0,82 ± 0,06 Ca	2,70 ± 0,25 Ab	1,70 ± 0,13 Bb	2,05 ± 0,09 Abb	0,71 ± 0,09 Ca
70%	14,12 ± 0,72 Cb	54,38 ± 1,66 Abb	67,94 ± 6,55 Aa	47,36 ± 1,84 Bb	39,37 ± 5,26 Bb	0,59 ± 0,06 Ba	2,19 ± 0,06 Ab	2,43 ± 0,23 Aab	2,25 ± 0,06 Aab	0,68 ± 0,08 Ba
Grão										
40%	41,49 ± 0,00 Aa	25,75 ± 4,17 Ba	7,03 ± 2,21 Cb	27,42 ± 2,09 Ba	23,00 ± 3,76 Ba	0,28 ± 0,04 Aa	0,14 ± 0,01 Ba	0,03 ± 0,01 Cb	0,09 ± 0,01 Bb	0,04 ± 0,01 Ca
50%	8,512 ± 0,81 Cb	24,67 ± 1,97 Aa	19,81 ± 3,15 Aba	21,04 ± 1,38 Abb	15,43 ± 1,42 Bb	0,03 ± 0,00 Bb	0,13 ± 0,01 Aa	0,14 ± 0,04 Aa	0,18 ± 0,02 Aa	0,03 ± 0,00 Ba
60%	6,78 ± 0,90 Cb	21,60 ± 1,21 Aa	21,35 ± 4,49 Aa	23,11 ± 1,40 Aab	13,10 ± 0,41 Bb	0,04 ± 0,01 Cb	0,15 ± 0,02 Aba	0,13 ± 0,02 Ba	0,18 ± 0,03 Aa	0,02 ± 0,00 Ca
70%	7,92 ± 1,61 Cb	15,17 ± 1,63 Abb	19,76 ± 1,64 Aa	12,10 ± 1,97 BCc	12,13 ± 1,86 BCb	0,05 ± 0,01 Bb	0,10 ± 0,02 Aa	0,03 ± 0,00 Bb	0,15 ± 0,02 Aa	0,03 ± 0,01 Ba
Solo de textura argilosa										
Parte aérea										
40%	23,48 ± 1,36 Ca	42,30 ± 7,60 Bc	37,90 ± 1,66 Bc	43,91 ± 1,47 Bb	71,28 ± 0,80 Aa	1,21 ± 0,08 Ba	2,45 ± 0,56 Ac	2,13 ± 0,14 Ac	2,39 ± 0,03 Ab	0,85 ± 0,02 Ba
50%	22,72 ± 1,21 Ca	72,68 ± 2,05 Aa	53,49 ± 0,66 Bb	45,20 ± 4,10 Bb	61,61 ± 3,46 Abc	0,98 ± 0,06 Ca	4,03 ± 0,12 Aa	2,95 ± 0,12 Bb	2,39 ± 0,23 Bb	0,73 ± 0,05 Ca
60%	21,22 ± 1,14 Ca	36,51 ± 0,62 Bc	52,99 ± 1,37 Ab	59,32 ± 3,67 Aa	63,73 ± 5,24 Aab	0,98 ± 0,09 Ca	1,92 ± 0,08 Bc	2,87 ± 0,08 Ab	3,25 ± 0,08 Aa	0,78 ± 0,31 Ca
70%	20,87 ± 1,37 Da	58,72 ± 3,49 BCb	80,72 ± 4,47 Aa	64,07 ± 4,03 Ba	52,86 ± 2,28 Cc	0,96 ± 0,09 Ca	3,25 ± 0,35 Bb	4,52 ± 0,30 Aa	3,10 ± 0,06 Ba	0,63 ± 0,03 Ca
Grão										
40%	7,48 ± 0,45 Bc	22,29 ± 3,89 Ab	20,17 ± 1,84 Ab	24,42 ± 1,35 Aa	0,00 ± 0,00 Ca	0,10 ± 0,02 Bb	0,32 ± 0,06 Ab	0,31 ± 0,03 Aab	0,35 ± 0,04 Aa	0,00 ± 0,00 Ca
50%	9,49 ± 1,00 Bbc	22,33 ± 0,96 Ab	23,29 ± 1,49 Ab	25,77 ± 1,00 Aa	0,00 ± 0,00 Ca	0,10 ± 0,02 Bb	0,31 ± 0,02 Ab	0,29 ± 0,03 Ab	0,34 ± 0,01 Aa	0,00 ± 0,00 Ca
60%	13,16 ± 0,85 Cb	33,63 ± 1,41 Aa	31,81 ± 2,87 Aa	24,48 ± 0,47 Ba	0,00 ± 0,00 Da	0,18 ± 0,02 Cab	0,44 ± 0,05 Aa	0,38 ± 0,02 Aba	0,32 ± 0,04 Ba	0,00 ± 0,00 Da
70%	23,35 ± 3,49 Ba	28,94 ± 1,15 Aa	29,73 ± 0,50 Aa	19,27 ± 3,43 Bb	0,00 ± 0,00 Ca	0,23 ± 0,05 Aba	0,30 ± 0,04 Ab	0,19 ± 0,02 Bc	0,08 ± 0,02 Cc	0,00 ± 0,00 Ca

Legenda: *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). T1- NPK; T2- NPK + Micronutrientes granulados; T3- NPK + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + Micronutrientes em pó e T5- Controle.
Fonte: Do autor (2020).

A Tabela 19 apresenta a massa seca acumulada na parte aérea do milho cultivado nos vasos dos solos arenoso e argiloso. Não se observou uma tendência geral em aumentar a massa seca da parte aérea conforme se elevou a saturação por bases nos dois solos. Também não foram observados incrementos significativos de massa seca destes tecidos em função dos diferentes tratamentos. No entanto, a massa seca do controle sempre foi menor que os tratamentos que receberam NPK ou NPK + micronutrientes.

Tabela 19 - Massa seca do milho para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.

Saturação por bases	T1	T2	T3	T4	T5
	g vaso ⁻¹				
	Solo de textura arenosa				
40%	36,7 ± 1,8 Bb	38,0 ± 1,9 Abb	41,0 ± 1,3 Aa	40,9 ± 2,4 Ab	15,8 ± 1,1 Cab
50%	38,7 ± 2,5 Bab	43,3 ± 0,5 Aa	44,0 ± 0,8 Aa	39,0 ± 1,6 Bb	15,0 ± 0,6 Cb
60%	39,1 ± 1,3 Aab	41,7 ± 0,7 Aab	40,1 ± 0,6 Aa	41,8 ± 0,4 Ab	17,3 ± 1,0 Bab
70%	42,8 ± 1,3 Aa	42,2 ± 2,9 Aab	44,2 ± 2,1 Aa	46,3 ± 1,5 Aa	19,9 ± 1,1 Ba
	Solo de textura argilosa				
40%	20,2 ± 1,3 Bb	26,7 ± 1,1 Ab	24,6 ± 1,3 Ac	26,1 ± 1,3 Ab	9,3 ± 0,2 Cab
50%	26,5 ± 2,0 Aa	28,7 ± 0,9 Ab	27,1 ± 0,6 Abc	28,6 ± 0,8 Ab	9,3 ± 0,7 Bb
60%	28,7 ± 0,0 Ba	34,0 ± 1,9 Aa	30,8 ± 1,2 Ba	31,5 ± 0,4 Aba	10,1 ± 0,1 Cab
70%	20,8 ± 1,3 Bb	28,7 ± 1,0 Aa	29,4 ± 1,1 Aab	27,8 ± 0,7 Ab	12,3 ± 0,9 Ca

Legenda: *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). T1- NPK; T2- NPK + Micronutrientes granulados; T3- NPK + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + Micronutrientes em pó e T5- Controle.

Fonte: Do autor (2020).

A Figura 18 ilustra diferenças visuais observadas para as alturas das plantas de milho que receberam micronutrientes junto ao formulado NPK. Notou-se o aumento em altura nestes tratamentos em relação ao tratamento 1 (NPK) e o controle (sem adubação). Destaca-se também a ocorrência de deficiência de manganês nas plantas de milho cultivadas no solo argiloso, independente das saturações por bases adotadas.

Figura 18 - Representação do Milho nas diferentes saturações e nos diferentes tratamentos nos dois tipos de textura de solo.







Legenda: Controle; T1- NPK; T2- NPK + Micronutriente granulado; T3- NPK + Micronutriente em pó e T4- NPK + Micronutriente em suspensão concentrada.

Fonte: Do autor (2020).

A Figura 19 apresenta os valores médios de massa seca, teor e acúmulo de cada micronutriente pelas plantas de milho cultivadas nos solos arenoso e argiloso contendo o os micronutrientes residuais da adubação da soja

Figura 19 - Esquema do milho nos diferentes tratamentos e saturações nos dois tipos de solo.

		Massa seca (g vaso ⁻¹)	Teor (mg kg ⁻¹)				Acúmulo (mg kg ⁻¹)				
			Cu	Mn	Zn	B	Cu	Mn	Zn	B	
	Arenoso	T1	36,70	0,00	182,43	14,63	8,81	0,00	6,71	0,53	0,32
		T2	38,04	0,00	184,78	39,37	17,40	0,00	7,08	1,50	0,66
		T3	40,97	0,00	226,73	41,64	17,31	0,00	9,27	1,71	0,71
		T4	40,90	0,76	347,10	52,38	12,46	0,03	14,21	2,14	0,51
		T5	15,84	0,00	217,25	15,33	12,47	0,00	3,44	0,24	0,20
	Argiloso	T1	20,20	6,78	192,60	14,50	19,62	0,14	3,90	0,30	0,40
		T2	26,70	6,58	178,45	26,85	13,18	0,17	4,75	0,72	0,35
		T3	24,60	8,28	223,07	39,07	17,84	0,20	5,48	0,96	0,44
		T4	26,05	7,99	222,53	35,86	18,95	0,21	5,81	0,93	0,49
		T5	9,31	9,05	147,30	24,48	20,15	0,08	1,37	0,23	0,19
	Arenoso	T1	38,65	0,00	190,00	13,35	11,60	0,00	7,33	0,52	0,46
		T2	43,33	0,00	191,75	35,45	27,85	0,00	8,30	1,53	1,21
		T3	44,03	0,00	187,87	32,99	20,35	0,00	8,26	1,45	0,90
		T4	38,93	3,92	234,68	34,74	16,71	0,15	9,11	1,34	0,65
		T5	15,00	0,10	157,40	19,13	22,90	0,00	2,37	0,28	0,34
	Argiloso	T1	26,48	5,57	161,25	13,36	13,76	0,15	4,25	0,35	0,36
		T2	28,68	8,61	167,53	30,47	19,64	0,25	4,80	0,87	0,56
		T3	27,08	8,38	194,37	35,28	15,80	0,23	5,26	0,96	0,43
		T4	28,58	7,69	200,73	31,33	20,12	0,22	5,75	0,89	0,57
		T5	9,26	3,39	140,00	9,36	26,47	0,03	1,30	0,08	0,25
	Arenoso	T1	39,10	1,53	144,95	13,59	9,12	0,06	5,64	0,53	0,35
		T2	41,73	2,06	168,60	28,45	23,13	0,09	7,05	1,19	0,97
		T3	40,10	3,84	228,55	46,05	19,24	0,15	9,18	1,85	0,77
		T4	41,84	2,94	279,47	46,99	18,67	0,12	11,70	1,97	0,78
		T5	17,32	0,49	148,50	15,02	17,99	0,01	2,58	0,26	0,31
	Argiloso	T1	28,70	5,45	131,68	11,17	1,69	0,16	3,78	0,32	0,05
		T2	33,96	11,61	167,55	36,16	9,60	0,39	5,68	1,21	0,32
		T3	30,83	7,50	136,93	20,57	11,53	0,23	4,20	0,63	0,36
		T4	31,51	7,08	162,08	35,18	6,54	0,22	5,10	1,11	0,21
		T5	10,08	4,86	118,65	9,01	7,77	0,05	1,20	0,09	0,08
	Arenoso	T1	42,75	1,53	144,95	13,59	8,66	0,07	6,22	0,58	0,37
		T2	42,18	2,06	168,60	28,45	18,96	0,09	7,13	1,20	0,80
		T3	44,23	3,84	228,55	46,05	17,78	0,17	10,11	2,03	0,78
		T4	46,33	2,94	279,47	46,99	16,47	0,14	12,91	2,17	0,77
		T5	19,88	0,49	148,50	15,02	15,95	0,01	2,96	0,30	0,32
	Argiloso	T1	20,77	8,18	197,50	11,03	5,38	0,17	4,09	0,23	0,11
		T2	28,72	3,58	123,20	15,77	16,21	0,10	3,54	0,45	0,46
		T3	29,35	3,91	142,70	22,59	14,89	0,11	4,18	0,66	0,43
		T4	27,83	5,99	166,28	20,58	6,56	0,17	4,62	0,57	0,19
		T5	12,28	6,05	168,17	11,77	11,53	0,08	2,06	0,15	0,14

Legenda: T1-NPK; T2- NPK + micronutriente granulado; T3- NPK + micronutriente em suspensão concentrada; T4- NPK + micronutriente em pó; T5- controle. Fonte: Do autor (2020).

As maiores saturações por bases não proporcionaram maiores acúmulos de micronutrientes neste solo, o pode ser justificado também pela ausência de incrementos na massa seca e nos teores destes nutrientes na parte aérea e grãos de soja cultivada nestas diferentes condições.

Nenhum tratamento se destacou quanto aos parâmetros avaliados. No entanto, os resultados de massa seca, teores e acúmulo dos tratamentos que receberam fertilizantes foram sempre maiores em relação ao controle.

As quantidades de Cu, Mn, Zn e B extraídas pelas plantas foram, em média, 0,18; 8,76; 1,39; 0,69 mg vaso⁻¹ para o solo arenoso e 0,19; 4,70; 0,70 e 0,36 mg vaso⁻¹ para o solo argiloso. Esses valores representam as médias para os diferentes tratamentos e saturações por bases.

Os totais de Cu, Mn, Zn e B extraídos pelo milho corresponderam a, aproximadamente, 1,6; 38,07; 6,04 e 10,04 % para o solo arenoso e 1,69%; 20,42%; 3,04% e 5,16% para o solo argiloso em relação as quantidades de micronutrientes aplicadas inicialmente, as quais foram 11,2; 23,01; 23,01 e 6,87 mg vaso⁻¹, respectivamente.

Assim, a ordem decrescente de extração desses micronutrientes pelo milho foi Mn > Zn > B e Cu para as duas texturas.

As Tabelas 20, 21, 22 e 23 apresentam todos os resultados de teores e acúmulos de Cu, Mn, Zn e B, respectivamente para os diferentes solos e saturações por bases. Notou-se que esses resultados são muito variáveis em relação a estes parâmetros, o que dificulta a observação de tendências relevantes.

Tabela 20 - Teor e acúmulo de cobre no milho para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.

Saturação por bases	Teor do nutrientes					Acúmulo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	mg kg ⁻¹					mg vaso ⁻¹				
Solo de textura arenosa										
40%	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Ab	0,76 ± 0,33 Ab	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Ab	0,03 ± 0,01 Ab	0,00 ± 0,00 Aa
50%	0,00 ± 0,00 Bb	0,00 ± 0,00 Bb	0,00 ± 0,00 Bb	3,92 ± 0,00 Aa	0,10 ± 0,00 Ba	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Ab	0,15 ± 0,01 Aa	0,00 ± 0,00 Ba
60%	1,53 ± 0,00 Cda	2,06 ± 0,00 Bca	3,84 ± 1,37 Aa	2,94 ± 0,15 Aba	0,49 ± 0,03 Da	0,06 ± 0,00 Ca	0,09 ± 0,00 Bca	0,15 ± 0,05 Aa	0,12 ± 0,01 Aba	0,01 ± 0,00 Da
70%	1,53 ± 0,00 CDa	2,06 ± 0,00 BCa	3,84 ± 1,37 Aa	2,94 ± 0,15 ABa	0,49 ± 0,03 Da	0,07 ± 0,00 Ca	0,09 ± 0,01 Bca	0,17 ± 0,06 Aa	0,14 ± 0,00 Aba	0,01 ± 0,00 Da
Solo de textura argilosa										
40%	6,78 ± 0,66 Abab	6,58 ± 0,92 Bb	8,28 ± 0,77 Aba	7,99 ± 0,49 Aba	9,05 ± 1,79 Aa	0,14 ± 0,02 Bca	0,17 ± 0,02 Abc	0,20 ± 0,02 Aa	0,21 ± 0,02 Aa	0,08 ± 0,02 Ca
50%	5,57 ± 0,55 BCb	8,61 ± 1,26 Ab	8,38 ± 1,12 Aa	7,69 ± 1,19 Aba	3,39 ± 0,76 Cb	0,15 ± 0,03 Ba	0,25 ± 0,03 Ab	0,23 ± 0,03 Aa	0,22 ± 0,03 Aa	0,03 ± 0,01 Ca
60%	5,45 ± 0,73 BCb	11,61 ± 1,00 Aa	7,50 ± 1,26 Ba	7,08 ± 0,54 Ba	4,86 ± 0,11 Cb	0,16 ± 0,02 Ca	0,39 ± 0,02 Aa	0,23 ± 0,04 Ba	0,22 ± 0,02 Ba	0,05 ± 0,00 Da
70%	8,18 ± 0,65 Aa	3,58 ± 0,23 Cc	3,91 ± 0,48 BCb	5,99 ± 0,63 ABCa	6,05 ± 0,99 Abb	0,17 ± 0,01 Aa	0,10 ± 0,01 Bd	0,11 ± 0,01 Abb	0,17 ± 0,02 Aa	0,08 ± 0,01 Ba

Legenda: *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). T1- NPK; T2- NPK + Micronutrientes granulado; T3- NPK + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + Micronutrientes em pó e T5- Controle.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 21 - Teor e acúmulo de Mn no milho para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.

Saturação por bases	Teor do nutrientes					Acúmulo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	mg kg ⁻¹					mg vaso ⁻¹				
Solo de textura arenosa										
40%	182,43 ± 20,09 Ca	184,78 ± 10,06 Ca	226,73 ± 12,67 Ba	347,10 ± 13,06 Aa	217,25 ± 13,64 Ba	6,71 ± 0,88 Cab	7,08 ± 0,70 Ca	9,27 ± 0,47 Bab	14,21 ± 1,01 Aa	3,44 ± 0,30 Da
50%	190,00 ± 7,37 Ba	191,75 ± 9,51 Ba	187,87 ± 3,87 Bb	234,68 ± 14,73 Ac	157,40 ± 6,61 Bb	7,33 ± 0,50 Ba	8,30 ± 0,37 Aba	8,26 ± 0,10 Abb	9,11 ± 0,58 Ac	2,82 ± 0,18 Ca
60%	144,95 ± 12,30 Cb	168,60 ± 10,52 Ca	228,55 ± 10,68 Ba	279,47 ± 13,65 Ab	148,50 ± 2,65 Cb	5,64 ± 0,41 Cb	7,05 ± 0,48 Ca	9,18 ± 0,56 Bab	11,70 ± 0,63 Ab	2,58 ± 0,18 Da
70%	144,95 ± 12,30 Cb	168,60 ± 10,52 Ca	228,55 ± 10,68 Ba	279,47 ± 13,65 Ab	148,50 ± 2,65 Cb	6,22 ± 0,62 Cab	7,13 ± 0,76 Ca	10,11 ± 0,69 Ba	12,91 ± 0,50 Aab	2,96 ± 0,20 Da
Solo de textura argilosa										
40%	192,60 ± 16,20 Ba	178,45 ± 7,70 Ba	223,07 ± 3,39 Aa	222,53 ± 5,21 Aa	147,3 ± 6,45 Cab	3,90 ± 0,45 Ca	4,75 ± 0,15 Bb	5,48 ± 0,27 Aa	5,81 ± 0,37 Aa	1,37 ± 0,08 Dab
50%	161,25 ± 11,93 BCb	167,53 ± 4,79 Ba	194,37 ± 3,84 Ab	200,73 ± 13,40 Ab	140,00 ± 2,20 Cbc	4,25 ± 0,34 Ca	4,80 ± 0,12 BCb	5,26 ± 0,12 Aba	5,75 ± 0,47 Aab	1,30 ± 0,10 Db
60%	131,68 ± 12,20 Bc	167,55 ± 2,39 Aa	136,93 ± 6,90 Bc	162,08 ± 8,75 Ac	118,65 ± 4,12 Bc	3,78 ± 0,35 Ba	5,68 ± 0,25 Aa	4,20 ± 0,07 Bb	5,10 ± 0,27 Abc	1,20 ± 0,05 Cb
70%	197,50 ± 5,48 Aa	123,20 ± 2,34 Cb	142,70 ± 5,12 Cc	166,28 ± 5,12 Bc	168,17 ± 5,09 Ba	4,09 ± 0,20 Aba	3,54 ± 0,19 Bc	4,18 ± 0,17 Abb	4,62 ± 0,12 Ac	2,06 ± 0,12 Ca

Legenda: *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). T1- NPK; T2- NPK + Micronutrientes granulado; T3- NPK + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + Micronutrientes em pó e T5- Controle.
Fonte: Do autor (2020).

Tabela 22 - Teor e acúmulo de Zn no milho para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.

Saturação por bases	Teor do nutrientes					Acúmulo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	mg kg ⁻¹					mg vaso ⁻¹				
Solo de textura arenosa										
40%	14,63 ± 1,20 Ca	39,37 ± 9,05 Ba	41,64 ± 1,74 Bab	52,38 ± 5,70 Aa	15,33 ± 1,48 Ca	0,53 ± 0,02 Ca	1,50 ± 0,35 Ba	1,71 ± 0,09 Bab	2,14 ± 0,25 Aa	0,24 ± 0,03 Ca
50%	13,35 ± 1,23 Ba	35,45 ± 2,85 Aab	32,99 ± 0,84 Ab	34,74 ± 4,58 Ab	19,13 ± 4,32 Ba	0,52 ± 0,05 Ba	1,53 ± 0,11 Aa	1,45 ± 0,06 Ab	1,34 ± 0,17 Ab	0,28 ± 0,05 Ba
60%	13,59 ± 1,94 Ca	28,45 ± 2,58 Bb	46,05 ± 3,62 Aa	46,99 ± 4,55 Aa	15,02 ± 0,47 Ca	0,53 ± 0,07 Ca	1,19 ± 0,11 Ba	1,85 ± 0,16 Aa	1,97 ± 0,20 Aa	0,26 ± 0,02 Ca
70%	13,59 ± 1,94 Ca	28,45 ± 2,58 Bb	46,05 ± 3,62 Aa	46,99 ± 4,55 Aa	15,02 ± 0,47 Ca	0,58 ± 0,09 Ca	1,20 ± 0,15 Ba	2,03 ± 0,15 Aa	2,17 ± 0,19 Aa	0,30 ± 0,02 Ca
Solo de textura argilosa										
40%	14,50 ± 1,10 Ca	26,85 ± 1,25 Bb	39,07 ± 1,11 Aa	35,86 ± 0,68 Aa	24,48 ± 0,51 Ba	0,30 ± 0,04 Cab	0,72 ± 0,06 Bc	0,96 ± 0,05 Aa	0,93 ± 0,05 Ab	0,23 ± 0,00 Ca
50%	13,36 ± 0,62 Ca	30,47 ± 1,79 Bb	35,28 ± 3,32 Aa	31,33 ± 0,59 Abb	9,36 ± 0,89 Cb	0,35 ± 0,03 Ca	0,87 ± 0,04 Ab	0,96 ± 0,10 Aa	0,89 ± 0,02 Ab	0,08 ± 0,00 Cb
60%	11,17 ± 0,99 Ca	36,16 ± 3,01 Aa	20,57 ± 2,33 Bb	35,18 ± 0,61 Aab	9,01 ± 1,14 Cb	0,32 ± 0,03 Cab	1,21 ± 0,05 Aa	0,63 ± 0,07 Bb	1,11 ± 0,02 Aa	0,09 ± 0,01 Db
70%	11,03 ± 0,98 Ca	15,77 ± 0,56 Bc	22,59 ± 0,57 Ab	20,58 ± 2,27 Ac	11,77 ± 1,21 BCb	0,23 ± 0,01 Cb	0,45 ± 0,03 Bd	0,66 ± 0,02 Ab	0,57 ± 0,05 Abc	0,15 ± 0,02 Cab

Legenda: *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). T1- NPK; T2- NPK + Micronutrientes granulado; T3- NPK + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + Micronutrientes em pó e T5- Controle.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 23 - Teor e acúmulo de B no milho para os diferentes tratamentos e saturações por bases nos solos de textura arenosa e argilosa.

Saturação por bases	Teor do nutrientes					Acúmulo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
	mg kg ⁻¹					mg vaso ⁻¹				
Solo de textura arenosa										
40%	8,81 ± 1,79 Ba	17,40 ± 1,40 Ac	17,31 ± 2,55 Aa	12,46 ± 2,45 Bb	12,47 ± 0,56 Bc	0,32 ± 0,05 Ca	0,66 ± 0,03 Abc	0,71 ± 0,11 Ab	0,51 ± 0,10 Bb	0,20 ± 0,01 Ca
50%	11,60 ± 1,59 Da	27,85 ± 2,04 Aa	20,35 ± 0,87 Bca	16,71 ± 0,69 Bab	22,90 ± 2,62 Ba	0,46 ± 0,09 Cda	1,21 ± 0,09 Aa	0,90 ± 0,05 Ba	0,65 ± 0,06 Cab	0,34 ± 0,04 Da
60%	9,12 ± 1,10 Ba	23,13 ± 1,51 Ab	19,24 ± 2,10 Aa	18,67 ± 0,40 Aa	17,99 ± 1,89 Aab	0,35 ± 0,04 Ca	0,97 ± 0,08 Ab	0,77 ± 0,09 Bab	0,78 ± 0,02 Ba	0,31 ± 0,02 Ca
70%	8,66 ± 0,68 Ba	18,96 ± 0,94 Abc	17,78 ± 1,63 Aa	16,47 ± 1,88 Aab	15,95 ± 0,36 Abc	0,37 ± 0,03 Ba	0,80 ± 0,05 Abc	0,78 ± 0,07 Aab	0,77 ± 0,10 Aa	0,32 ± 0,02 Ba
Solo de textura argilosa										
40%	19,62 ± 3,98 Aa	13,18 ± 0,79 Bbc	17,84 ± 2,78 Aba	18,95 ± 1,75 Aba	20,15 ± 1,46 Ab	0,40 ± 0,10 Aa	0,35 ± 0,02 Abc	0,44 ± 0,08 Aa	0,49 ± 0,02 Aa	0,19 ± 0,01 Ba
50%	13,76 ± 1,14 Ca	19,64 ± 3,17 Bca	15,80 ± 0,71 Bcab	20,12 ± 1,46 Ba	26,47 ± 2,61 Aa	0,36 ± 0,04 Cda	0,56 ± 0,09 Aba	0,43 ± 0,03 Bca	0,57 ± 0,04 Aa	0,25 ± 0,04 Da
60%	1,69 ± 0,40 Bb	9,60 ± 1,67 Ac	11,53 ± 0,67 Ab	6,54 ± 2,00 Abb	7,77 ± 0,00 Abd	0,05 ± 0,01 Db	0,32 ± 0,05 Abc	0,36 ± 0,03 Aa	0,21 ± 0,06 BCb	0,08 ± 0,00 CDb
70%	5,38 ± 1,05 Bb	16,21 ± 1,37 Aab	14,89 ± 1,15 Aab	6,56 ± 2,29 Bb	11,53 ± 0,67 Abc	0,11 ± 0,02 Bb	0,46 ± 0,03 Aab	0,43 ± 0,02 Aa	0,19 ± 0,07 Bb	0,14 ± 0,02 Ba

Legenda: *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). T1- NPK; T2- NPK + Micronutrientes granulado; T3- NPK + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4- NPK + Micronutrientes em pó e T5- Controle.

Fonte: Do autor (2020).

Somando-se as % médias extraídas pela soja e pelo milho cultivados nos vasos, o total de Cu, Mn, Zn e B acumulado pelas duas culturas foi de 3,5; 102,57; 25,16 e 42,94% para o solo arenoso e 4,69; 100,22; 9,16 e 45,96% para o solo argiloso, em relação as quantidades aplicadas inicialmente, as quais foram 11,2; 23,01; 23,01 e 6,87 mg vaso⁻¹, respectivamente. O excedente acumulado de Mn é explicado pela quantidade inicialmente presente no solo arenoso (11,08 mg dm⁻³) e argiloso (25,02 mg dm⁻³), o que corresponde a 55,4 e 25,02 mg vaso⁻¹ para estas duas texturas.

As Tabelas 24 e 25 apresentam os resultados das análises químicas dos dois solos utilizados no experimento de vasos após os cultivos sucessivos de soja e milho. Observou-se que os parâmetros tendem a se igualar, independente da saturação por bases utilizada inicialmente.

Tabela 24 - Caracterização química do solo de textura arenosa nas diferentes saturações de base e nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%			mg dm ⁻³			
							40%							
T1	4,28	74,19	232,34	0,93	0,16	0,43	5,23	6,51	19,65	0,35	49,85	4,35	0,02	0,04
T2	4,33	112,05	284,68	1,06	0,22	0,38	5,38	6,94	22,51	7,28	52,68	6,45	0,30	0,08
T3	4,38	86,65	287,74	1,25	0,16	0,43	5,38	7,01	23,14	4,30	52,88	6,68	2,52	0,12
T4	4,40	88,92	316,20	1,02	0,16	0,43	5,28	6,68	20,87	3,23	64,93	5,73	1,91	0,10
T5	4,33	85,52	137,80	0,73	0,25	0,35	4,65	5,84	20,54	0,28	46,60	7,35	0,04	0,06
							50%							
T1	4,30	117,76	321,89	1,27	0,19	0,40	6,05	7,80	23,14	0,50	59,85	6,48	0,06	0,06
T2	4,35	74,12	340,54	1,44	0,23	0,50	5,35	7,21	25,26	3,25	60,78	6,50	3,76	0,08
T3	4,30	93,06	330,30	1,28	0,14	0,53	5,53	7,18	22,51	3,80	60,85	7,45	1,63	0,07
T4	4,35	68,63	237,45	0,79	0,16	0,58	5,45	6,58	17,20	1,78	52,85	5,33	1,19	0,07
T5	4,33	71,69	108,98	1,08	0,33	0,40	4,58	6,17	25,82	0,30	47,55	7,05	0,04	0,08
							60%							
T1	4,30	75,07	307,74	1,24	0,17	0,45	5,73	7,33	21,81	0,43	61,43	5,73	0,24	0,03
T2	4,30	36,14	267,57	1,07	0,11	0,43	5,23	6,49	19,50	2,53	52,95	5,15	1,18	0,03
T3	4,43	109,01	375,76	1,04	0,11	0,33	5,23	6,65	21,45	3,10	59,75	6,98	1,39	0,02
T4	4,30	69,27	388,35	1,38	0,19	0,30	5,28	7,02	24,75	4,93	63,53	8,00	2,74	0,02
T5	4,45	77,28	202,95	1,08	0,30	0,23	4,38	5,95	26,48	0,28	54,70	8,03	0,33	0,01
							70%							
T1	4,45	64,72	276,81	1,18	0,16	0,28	4,65	6,15	24,35	0,43	50,80	4,95	0,23	0,02
T2	4,40	57,73	321,10	1,15	0,17	0,35	5,45	6,92	20,80	2,70	52,28	5,33	0,61	0,03
T3	4,38	47,07	249,77	0,95	0,11	0,38	4,93	6,11	19,29	3,00	52,25	5,38	1,14	0,01
T4	4,30	36,00	313,40	1,43	0,17	0,33	5,23	6,91	24,42	5,23	53,28	5,90	4,54	0,03
T5	4,28	19,97	132,27	1,00	0,26	0,35	4,43	5,74	22,58	0,23	46,75	6,63	0,23	0,01

Legenda: *T1 - NPK 02-20-20; T2 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes granulados; T3 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em pó e T5 - Controle. * Média de quatro repetições.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 25 - Caracterização química do solo de textura argilosa nas diferentes saturações de base e nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B
40%														
T1	4,50	248,04	76,53	0,59	0,10	0,00	4,68	6,00	21,42	0,23	22,13	5,28	1,19	0,12
T2	4,30	95,69	27,29	0,48	0,11	0,00	4,90	5,74	14,49	3,98	22,53	6,60	2,32	0,13
T3	4,43	197,98	78,05	0,64	0,10	0,00	4,93	6,18	20,03	2,78	22,40	7,03	2,20	0,14
T4	4,45	154,05	81,03	0,84	0,08	0,00	5,08	6,38	20,24	5,08	23,58	9,28	3,88	0,12
T5	4,53	159,58	15,97	0,57	0,16	0,00	3,48	4,62	24,70	0,10	20,08	6,78	1,29	0,16
50%														
T1	4,40	178,33	54,72	0,74	0,10	0,00	4,20	5,50	23,29	0,95	23,55	5,70	7,66	0,17
T2	4,35	71,56	36,43	0,63	0,19	0,00	5,05	6,05	16,63	6,13	22,78	6,55	3,03	0,19
T3	4,78	164,28	80,07	0,61	0,22	0,00	4,63	5,87	21,52	3,98	23,25	8,68	4,37	0,14
T4	4,68	138,10	93,28	0,82	0,19	0,00	4,98	6,34	21,43	5,78	24,95	9,58	6,32	0,15
T5	4,55	290,69	40,31	0,65	0,36	0,00	3,58	5,32	32,82	0,20	19,80	7,48	2,84	0,16
60%														
T1	4,33	210,96	73,79	0,67	0,26	0,30	4,98	6,44	22,94	0,30	23,65	6,23	2,43	0,13
T2	4,90	111,25	61,79	0,71	0,24	0,00	4,60	5,83	21,11	3,90	23,00	6,15	3,78	0,16
T3	4,93	133,62	105,17	1,05	0,25	0,00	4,70	6,35	25,77	7,95	27,18	10,88	4,23	0,16
T4	4,95	195,39	104,79	0,80	0,22	0,00	4,23	5,74	26,24	4,30	24,33	9,75	4,07	0,16
T5	4,63	243,83	36,79	0,63	0,37	0,00	3,60	5,22	30,95	0,10	18,58	7,38	1,49	0,13
70%														
T1	4,75	349,93	105,50	1,02	0,37	0,00	4,38	6,67	34,65	0,45	21,80	8,60	1,69	0,16
T2	5,05	241,41	86,21	0,69	0,36	0,00	3,55	5,22	31,81	1,03	19,30	8,83	1,38	0,15
T3	5,00	170,29	123,09	1,31	0,29	0,00	4,28	6,31	32,77	8,00	23,93	12,25	3,97	0,23
T4	4,80	224,71	141,96	0,91	0,39	0,00	4,13	6,00	30,74	5,13	21,85	12,30	3,53	0,17
T5	4,20	118,50	18,43	0,79	0,38	0,00	3,10	4,58	32,57	0,23	18,80	8,68	1,05	0,16

Legenda: *T1 - NPK 02-20-20; T2 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes granulados; T3 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em suspensão concentrada; T4 - NPK 02-20-20 + Micronutrientes em pó e T5 - Controle. * Média de quatro repetições.

Fonte: Do autor (2020).

5 CONCLUSÕES

A adição de Cu, Mn, Zn e B ao formulado NPK aumenta as extrações destes micronutrientes pelas plantas de soja e milho.

A segregação e os efeitos diluição e concentração limitam a definição das melhores formas de adição de micronutrientes ao NPK.

As exportações de B, Zn, Cu e Mn pelos grãos de soja representam menos que a metade do total extraído pela cultura ao longo do ciclo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S. & SANTOS, G.C.G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; VENEGAS, V.H.A.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. ed. Fertilidade do Solo. 1ª ed. Viçosa-MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, cap. 11, p. 645-736, 2007.
- AMADO, L. O. Massa seca de milho em função de micronutrientes e calagem. 2005. 25 f. Relatório (Estágio Supervisionado em Agronomia). Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá. 2005.
- ATMANN, N. Rotação de culturas: Biodiversidade e sustentabilidade. In: HIROMOTO, D.M.; CAJU, J. & CAMACHO, S.A. (ed.), **Boletim de pesquisa de soja**. Rondonópolis, Fundação MT, n 13, 286-292 p., 2009.
- BARBOSA FILHO, M. P.; DUNIA, J. F.; FAGERIA, N. K. Zinco e ferro na cultura do arroz. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994.71p. (EMBRAPA-CNPAF. **Documentos**, 49).
- BENDER, R. R. et al. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 161–170, 2013.
- BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 2, p. 563–573, 2015.
- BORGES, I. D.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, J. L. DE A. R. Micronutrients accumulation at different maize development stages. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 4, p. 1018–1025, 2009.
- COELHO, A. M., AND G. E. FRANÇA. 2013. Nutrição e adubação do milho [Maize nutrition and fertilization]. Available at: http://xa.yimg.com/kq/groups/35137484/1237253435/name/nutricao_adubacao_milho.pdf. [Accessed March 13, 2013.]
- CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 6 - Safra 2018/19 - **Décimo primeiro levantamento**, Brasília, 1-45 p., 2019.
- DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R, 2006. Micronutriente. In: FERNANDES, M.S. ed. Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa-MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, cap. 13, 327-354.
- EMBRAPA- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011. Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 255 p., 2010.
- EMBRAPA- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Rotação de culturas garante 10% de aumento de produtividade. Embrapa soja. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18117874/rotacao-de-culturas-garante-10-de-aumento-de-produtividade-->> acessado 05 de agosto de 2019.

FAVARIN, J. L., T. TEZOTTO, AND C. F. RAGASSI. 2008. Uso racional de micronutrientes na cultura de milho [Rational micronutrient use in maize]. Piracicaba, Brazil: **International Plant Nutrition Institute**.

FAVARIN, J. L., AND J. P. MARINI. 2000. Importância dos micronutrientes para a produção de grãos [Importance of micronutrients for grain production]. Available at <http://www.snagricultura.org.br/artigos/artitec-micronutrientes.html>. [Accessed March 12, 2011.]

FURLANI, A.M.C. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G.B., ed. Fisiologia Vegetal. 2ª ed. **Guanabara**, cap. 2, p. 40-75, 2012.

GRAHAM, R. D.; HANNAN, R. J.; UREN, N. C. (eds.) Manganese in Soils and Plants. **Glen Osmond: Waite Agricultural Research Institute**. 1988. p. 52-233.

HANWAY, J.J. 1963. Growth stages of corn. **Agron. J.** 55:487–492. doi:10.2134/agronj1963.00021962005500050024x.

HECKMAN, J.R., J.T. SIMS, D.B. BEEGLE, F.J. COALE, S.J. HERBERT, T.W. BRUUL-SEMA, AND W.J. BAMKA. 2003. Nutrient removal by corn grain harvest. **Agron. J.** 95:587–591. doi:10.2134/agronj2003.0587

JHA, A.K. Percolation segregation in multi-size and multi-component particulate mixtures: measurement, sampling, and modeling. 2008. 286p. Dissertation (Doctor of Philosophy) - The Pennsylvania State University, State College, 2008.

LHER, J. Chemical reaction of micronutrients in fertilizers. In: MORTVEDT, J. J; COX, F. R; SHUMAN, L. M; WELCH, R. M. (ed.) Micronutrients in Agriculture. 2.ed. Madison, **Soil Science Society of America**, 1991. p. 523-548.

LOPES, A.S. Micronutrientes- Filosofia de aplicação e fontes. In: Ribeiro, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & VENEGAS, V.H.A. ed. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa-MG: Comissão de Fertilidade do Solo do estado de Minas Gerais (CFSEMG), Cap. 11, p. 79-86, 1999.

LOPES, A. S., C. A. ABREU. 2000. Micronutrientes na Agricultura Brasileira: Evolução Histórica e Perspectivas Futuras [Micronutrients in Brazilian agriculture: historical evolution and future prospects]. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (Org.). Tópicos Especiais em Ciência do Solo, vol. 1, pp. 265–298. Viçosa, Brazil: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**.

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

MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo: **Produquímica**, 1994. 153p.

MENGEL, K., AND E. A. KIRKBY. 1980. Potassium in crop production. **Advances in Agronomy** 33: 59–110.

MOLIN, J.P.; MACHADO, T.M; MAGALHÃES, R.P.; FAULI, G.D. 2009. Segregação de fertilizantes aplicados a lanço. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.4, p.614-622.

- MONTEIRO FILHO, M. 2005. Perigo Invisível: Resíduos Tóxicos em Micronutrientes: Veneno na Produção de Alimentos [Unseen danger: Toxic waste in micronutrients: Poison in food production]. **Revista Problemas Brasileiros** 371: 5 pp.
- MORTVEDT, J. J. 1991. Micronutrient fertilizer technology. In: Micronutrients in Agriculture, eds. J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch, pp. 523–548. Madison, WI: **Soil Science Society of America**.
- MORTVEDT, J. J., AND R. J. GILKES. 1993. Zinc fertilizers. In: Zinc in Soils and Plants, ed. A. D. Robson, pp. 33–44. Perth, Australia: The University of Western Australia.
- NIKITN, A. A. Production and use of trace salts in fertilizers. In: SAUCHELLI, V. (ed.). Chemistry and technology of fertilizers. 4.ed. New York: **Reinhold Publishing Corporation**, 1967. p. 435-445.
- ODA, M.C.; SEDIYAMA, T. & BARROS, H.B. Sistemas de Cultivo. In: SEDIYAMA, T. (ed.). Tecnologias de produção e usos da soja. Londrina, PR, **Mecenas**, 71-75 p., 2009.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; PEREIRA, L. R.; DOMINGOS, C. da S. Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja. Embrapa Soja, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1047123/estadios-fenologicos-e-marcha-de-absorcao-de-nutrientes-da-soja>> acesso 20 de janeiro de 2020.
- ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (ed.). Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: **FEALQ/ USP**, 1993. p.133-146.
- PEDERSEN, P. 2009. Soybean growth and development. Spec. Publ. PM1945. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv., Ames.
- RAIJ, B. VAN. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. 1ªed. **IPNI**, 2011.
- RAIJ, B. VAN, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A., & FURLANI, A.M. C. Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo (2nd Ed.). Campinas, SP: **Instituto Agrônomo de Campinas**, 1997.
- RESENDE, A.V. Adubação da soja: em áreas de Cerrado: micronutrientes. Embrapa Cerrados, **Documentos**,115. Planaltina, DF, Embrapa Cerrados, 27 p., 2004.
- RESENDE, A. V. 2005. Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas [Micronutrients in Brazilian agriculture: availability, utilization and outlook]. Rio de Janeiro: **Centro de Tecnologia Mineral**.
- RODELLA, A.A. Requisitos de qualidade dos fertilizantes minerais/ Piracicaba:**IPNI - International Plant Nutrition Institute**, 48-51p., 2018.
- RÖMHELD, V., AND H. MARSCHNER. 1991. Function of micronutrients in plants. In: Micronutrients in Agriculture, eds. J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch, pp. 297–328. Madison. WI: **Soil Science Society of America**.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. 1997. How a corn plant develops. Spec. Publ. 48. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv., Ames.

- SANTOS, G.A.; KORNDÖRFER, G.H. & PEREIRA, H.S. Methods of adding micronutrients to a NPK formulation and maize development. **Journal of Plant Nutrition**, 39:9, 1266-1282 p., 2015.
- SAUCHELLI, V. Minor and secondary elements in mixed fertilizers. In: SAUCHELLI, V. (ed.). *Chemistry and technology of fertilizers*. 4.ed. New York: **Reinhold Publishing Corporation**, 1967. p. 435-445.
- SEDIYAMA, T. Produtividade da Soja. Londrina, PR, **Mecenas** ed., 310 p., 2016.
- SFREDO, G.J., BORKERT, C.M. Deficiência e toxicidade de nutrientes em plantas de soja, **Documentos n° 231**. Londrina, PR, Embrapa Soja, 44 p., 2004.
- SFREDO, G.J. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral, **Documentos 305**. Londrina, PR, Embrapa Soja, 148 p., 2008.
- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. & OLIVEIRA, S.A. Acidez do Solo e sua Correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.F.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (Eds). *Fertilidade do Solo*. 1ª ed. Viçosa-MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, cap. 5, p. 205-274, 2007.
- TAIZ, L., E. ZEIGER, AND E. R. SANTAREM. 2004. *Fisiologia vegetal [Plant Physiology]*. Porto Alegre: **Artmed**.
- TERRÓN, P.U. Las Alternativas de Cosechas. In: TERRÓN, P.U.(ed.). *Tratado de Fitotecnia Geral*. Madrid, 665-680 p. 1995.
- VOLKWEISS, S. J. 1991. Fontes e métodos de aplicação [Sources and application methods]. In: *Micronutrientes na Agricultura [Micronutrients in Agriculture]*, eds. M. E. Ferreira, and M. C. P. Cruz, pp. 391–412. Piracicaba, Brazil: **Potafos/ CNPq**.