



DANIEL PAES PINTO REZENDE

**FORNECIMENTO DE B, Zn, Cu E Mn VIA NPK PARA A
SOJA E OS EFEITOS NA EXTRAÇÃO, EXPORTAÇÃO E
RENDIMENTOS DA CULTURA**

**LAVRAS - MG
2020**

DANIEL PAES PINTO REZENDE

**FORNECIMENTO DE B, Zn, Cu E Mn VIA NPK PARA A SOJA E OS EFEITOS NA
EXTRAÇÃO, EXPORTAÇÃO E RENDIMENTOS DA CULTURA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

MSc. Leonardo Fernandes Sarkis
Coorientador

**LAVRAS - MG
2020**

DANIEL PAES PINTO REZENDE

**FORNECIMENTO DE B, Zn, Cu E Mn VIA NPK PARA A SOJA E OS EFEITOS NA
EXTRAÇÃO, EXPORTAÇÃO E RENDIMENTOS DA CULTURA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em 21 de agosto de 2020.

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

MSc. Leonardo Fernandes Sarkis
Coorientador

**LAVRAS – MG
2020**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por toda proteção durante a minha caminhada acadêmica.

Aos meus pais José Carvalho (falecido) e Vera, por todo o apoio incondicional, ensinamentos e inspiração durante todos esses anos.

Ao meu irmão Matheus, pelo companheirismo e parceria durante o curso de Agronomia.

À minha namorada Gabriela, que sempre me incentivou e me ajudou a superar as dificuldades durante essa jornada.

Ao meu orientador Professor Dr. Douglas Guelfi, pela oportunidade, influência e ensinamentos adquiridos.

Ao meu coorientador Leonardo Sarkis, por toda amizade e auxílio na criação deste trabalho.

À Camila Almeida dos Santos, pela disponibilidade de participar da banca de avaliação.

Ao Núcleo de Estudos em Ciência do Solo (NECS), por todas as amizades e ensinamentos.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade da soja e as extrações/exportações de B, Zn, Mn e Cu ao longo do ciclo da soja 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 foi realizado em campo na fazenda Palheta, localizada no município de Luminárias-MG, em um Argissolo vermelho, cultivado com soja na safra 2018/2019. 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, o que garantiu o fornecimento de 246; 418,2; 824,1 e 824,1 g ha⁻¹ de B, Cu, Mn e Zn, respectivamente. O 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. Todos os resultados foram submetidos ao teste de normalidade e posteriormente à análise de variância e os tratamentos foram comparados pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo software SISVAR 5.3® (Ferreira, 2011). A produtividade não foi influenciada pelas diferentes tecnologias para incorporação de micronutrientes aos grânulos de NPK e as médias variaram entre 4653 e 5302 kg ha⁻¹ de grãos. 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. Micronutrientes. NPK. Tecnologias para fertilizantes. Suspensão concentrada.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 7 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 8 |
| 2.1 Importância e funções dos micronutrientes | 8 |
| 2.2 Formas de absorção e sintomas de deficiência | 9 |
| 2.3 Comportamento dos micronutrientes no solo e nas plantas | 10 |
| 2.4 Filosofias de aplicação de micronutrientes | 12 |
| 2.5 Fontes de micronutrientes e formas de aplicação | 13 |
| 2.6 Fertilizantes NPK contendo micronutrientes | 14 |
| 2.6.1 Mistura de micronutrientes com grânulos de NPK | 14 |
| 2.6.2 Micronutrientes incorporados em misturas granuladas, fertilizantes granulados e fertilizantes simples | 15 |
| 2.6.3 Micronutrientes no revestimento de fertilizantes NPK | 15 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 17 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 19 |
| 5. CONCLUSÃO | 25 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 26 |

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja apresenta expressiva importância no cenário agrícola mundial. O Brasil é um dos países que se destacam no cultivo de soja, com uma área cultivada superior a 36 milhões de hectares e produção recorde de 120,9 milhões de toneladas na safra 2019/20 (CONAB, 2020). O surgimento de novas tecnologias e de pesquisas destinadas à cultura são alguns dos fatores responsáveis pelo acréscimo na produção nos últimos anos. Um exemplo destas tecnologias são as formas de adição de micronutrientes aos fertilizantes formulados NPK.

O aumento da produtividade da soja resultou em uma maior exportação dos nutrientes do solo, gerando maior destaque ao uso de micronutrientes nos últimos anos. Além disso, o uso de doses elevadas de fertilizantes e a incorporação incorreta do calcário favoreceu a ocorrência de deficiências de micronutrientes nas lavouras (LOPES, 1999).

Os solos brasileiros, em sua maioria, apresentam baixa fertilidade natural, sendo um fator limitante para atingir altas produtividades. Por esta razão, a busca por novas tecnologias e elaboração de fertilizantes contendo micronutrientes tem constituído um aspecto fundamental para a construção da fertilidade das áreas cultivadas.

As doses recomendadas de micronutrientes via solo são baixas, em função disso, há certa dificuldade em aplica-los de maneira uniforme na lavoura. Desse modo, o uso desses elementos é flexibilizado quando fornecidos junto com macronutrientes, através da utilização de formulados NPK com micronutrientes granulados e misturados aos grânulos, incorporados em misturas granuladas ou no revestimento de grânulos de NPK, possibilitando a aplicação uniforme das pequenas quantidades exigidas (ABREU et al., 2007).

Apesar de reconhecida a importância e a essencialidade dos micronutrientes para o desenvolvimento e reprodução das plantas, nota-se a necessidade de ampliar os estudos direcionados a este tema. Além disso, a prática do plantio direto e de adubações de sistema faz-se necessário o conhecimento dos valores de extrações e exportações de nutrientes pela cultura da soja. Logo, objetivou-se avaliar as produtividades, as extrações e exportações de boro, cobre, manganês e zinco ao longo do ciclo da soja a partir de diferentes formas de adição de micronutrientes ao NPK.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância e funções dos micronutrientes

Apesar de serem exigidos em menores quantidades pelas plantas, os micronutrientes exercem funções essenciais para o crescimento e desenvolvimento das culturas, um exemplo disto, é que quando os teores desses nutrientes estão baixos no solo ocorre uma elevada redução da atividade fisiológica dos vegetais, dessa forma, interferindo diretamente na produtividade da cultura (HANSEL e OLIVEIRA, 2016).

Os micronutrientes estão presentes em aproximadamente 0,5% da matéria seca das plantas (EPSTEIN e BLOOM; DECHEN e NACHITIGALL, 2006), esse valor, deve-se ao fato de não estarem nas estruturas das plantas, e sim como constituintes e ativadores de enzimas necessárias para o funcionamento correto do metabolismo dos vegetais.

Além disso os micronutrientes boro, cobre, manganês e zinco estão envolvidos em atividades fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, participando de processos metabólicos essenciais, como a fotossíntese, além de estarem envolvidos na fase reprodutiva e na resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos.

O manganês (Mn) é ativador de enzimas responsáveis por reações metabólicas com ações diretas na fotossíntese. A enzima constituída por este micronutriente participa da reação de fotólise da água, denominada de reação de Hill, esta é responsável por liberar elétrons que serão transferidos para o fotossistema II (FSII) e irão dar continuidade no processo de fotossíntese, dessa forma contribuindo para a síntese de clorofila, além da multiplicação e atividade dos cloroplastos.

O boro (B) se destaca por ser o micronutriente menos compreendido com relação as suas funções nas plantas, no entanto sabe-se que ele exerce funções essenciais associadas à fase reprodutiva dos vegetais (FAGERIA, 2009). Além disso, o boro está relacionado com a divisão celular, formação das paredes celulares, síntese de fitohormônios e com o transporte de carboidratos.

O cobre (Cu), por sua vez, interage nas plantas através de enzimas que realizam reações redox, a exemplo da plastocianina, que têm como função o transporte de elétrons na fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2010). O cobre ainda tem papel importante na constituição ou ativação de enzimas que atuam no metabolismo secundário, a exemplo das oxidases (lacase, polifenol, oxidase, ácido ascórbico, citocromo c oxidase e diamino oxidase). A polifenol oxidase e ascorbato oxidase estão presentes em reações responsáveis pela lignificação das paredes celulares e formação de melaninas e fitoalexinas, sendo assim o Cu é um nutriente indispensável

para conferir resistência a doenças nas plantas (principalmente fúngicas). (KIRKBY e RÖMHELD, 2007).

O zinco (Zn) têm papel fundamental nas plantas através da enzima sintetase do triptofano, tal enzima é precursora do ácido indol acético (AIA) (MASCARENHAS et al, 2014). Além da sintetase do triptofano, o Zn também está presente na enzima álcool desidrogenase, na anidrase carbônica (AC) e na RNA polimerase. A enzima AC localiza-se no citoplasma e nos cloroplastos, podendo facilitar a transferência de $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$ para a fixação do CO_2 na fotossíntese, sendo assim de suma importância para garantir uma alta taxa fotossintética nas plantas (HATCH e BURNELL, 1990).

2.2 Formas de absorção e sintomas de deficiência

Os micronutrientes são absorvidos pelas plantas em diferentes formas, alguns são absorvidos na sua forma catiônica como é o caso do cobre, zinco e magnésio, enquanto outros são absorvidos na sua forma aniônica a exemplo do boro e molibdênio.

A absorção de boro (B) se dá principalmente na forma de H_3BO_3 (ácido bórico), no entanto também pode ser absorvido na forma de ânions: H_2BO_4^- e $\text{B}_4\text{O}_7(\text{OH})_4^{2+}$, apesar de serem adquiridos em menores quantidades se comparados ao ácido bórico.

A deficiência de B nos solos brasileiros é de rara ocorrência, uma vez que esta ocorre em condições de elevado pH e elevada saturação de bases. Sua deficiência interfere nos vasos condutores e na fisiologia reprodutiva, apresentando um declínio da germinação dos grãos de pólen e do crescimento tubo polínico (SFREDO e BORKET, 2004). Por ser um nutriente pouco móvel na planta, os primeiros sintomas ocorrem primeiramente nos tecidos mais jovens. Outro sintoma típico de deficiência de B, é o superbrotamento devido a morte da gema apical. Os sintomas nas plantas podem ser confundidos com os sintomas de deficiência de fósforo (P) e potássio (K) (YAMADA, 2000).

O cobre (Cu) é absorvido pelas plantas, principalmente, através da sua forma catiônica Cu^{2+} e na forma de complexos orgânicos solúveis, sendo um elemento pouco móvel na planta após sua absorção (FAVARIN e MARINI, 2000).

Os sintomas de deficiência surgem a princípio em tecidos jovens, as folhas assumem colorações verde-acizentada ou verde-azulada. As plantas demonstram sintomas como o difícil aparecimento de folhas novas, pequeno desenvolvimento e enfraquecimento dos caules, distorção foliar e dieback (seca de ponteiro). Outro problema desencadeado pela deficiência de Cu, é a falta de suprimento (carboidratos) para os nódulos das leguminosas, devido aos baixos teores de plastocianina e conseqüente redução da taxa de fixação de CO_2 , dessa forma, podendo

ocasionar deficiência de nitrogênio (N) e crescimento restrito das plantas (KIRKBY e RÖMHELD, 2007).

O manganês (Mn) é absorvido na forma de Mn^{2+} e nas formas oxidadas Mn^{3+} e Mn^{4+} , porém somente sua forma mais reduzida é capaz de translocar para a parte aérea das plantas. Na planta é um elemento relativamente imóvel, o que explica a manifestação de deficiência nas folhas novas (FAVARIN e MARINI, 2000).

Em casos de deficiência de Mn, as folhas apresentam uma clorose internerval no limbo foliar, em forma de reticulado grosso, devido a redução da síntese de clorofila (OHKI, 1984). A função vital do Mn no metabolismo fotossintético das plantas explica a quebra da estrutura do cloroplasto, induzindo sintomas de clorose, que em casos mais severos deixam as folhas esbranquiçadas e necróticas, resultando em menor desenvolvimento vegetal e queda da produtividade (TOKESHI, 1991).

No caso do zinco (Zn), este nutriente é absorvido pelas plantas em sua forma catiônica Zn^{2+} , podendo ser absorvido, em condições de pH elevado, na forma de $ZnOH^+$. Ainda há referências citando sua absorção na forma quelatada (RAIJ, 1991).

Os sintomas de deficiência de Zn nas plantas destacam-se, principalmente, pela redução na ativação de enzimas essenciais ao metabolismo vegetal e redução da taxa fotossintética devido a sua presença na enzima anidrase carbônica (AC), esta que têm grande importância para garantir a alta taxa fotossintética (HATCH e BURNELL, 1990). Desse modo, as plantas deficientes em Zn estão sujeitas a um menor desenvolvimento, apresentando caule rígido e ereto, internódios curtos e coloração amarelada nos folíolos (MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985).

2.3 Comportamento dos micronutrientes no solo e nas plantas

A disponibilidade e a presença dos micronutrientes no solo depende de alguns fatores determinantes, como o pH, a textura, o teor de matéria orgânica, umidade e o material de origem do solo (ABREU et al., 2007). A mobilidade desses nutrientes também pode variar de acordo com as características do solo. O conhecimento desses fatores permite uma melhor interpretação e análise de áreas com relação ao manejo a ser adotado.

O comportamento do boro no solo é influenciado pelo pH, textura e umidade do solo. Em condições de pH entre 6 e 9 o B é adsorvido pelos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) tornando-se menos disponível as plantas (ABREU et al., 2007). Em relação a textura, solos mais argilosos adsorvem o boro, diminuindo a disponibilidade do mesmo, por outro lado em solos arenosos em condições de altas pluviosidades podem ocorrer lixiviação do boro, uma vez

que sua forma no solo não apresenta cargas (H_3BO_3) (ABREU et al., 2007). Já em solos com baixa umidade, nota-se menor presença de B devido a menor liberação desse elemento da matéria orgânica (RAIJ, 2011).

Nas plantas, após a absorção, o boro é translocado para as pontas das folhas através da corrente respiratória via xilema, onde se acumula. Posteriormente o B apresenta baixa mobilidade na planta, isto explica o aparecimento de sintomas de deficiência nos tecidos jovens, como meristemas florais e vegetativos, pólen, frutos e raízes (FAVARIN e MARINI, 2000). Em algumas culturas, a exemplo da soja, pode ocorrer a redistribuição do B através da formação de complexos deste nutriente com polióis, dando origem a composto mais solúveis nos tecidos (BROWN e HU, 1996 apud MALAVOLTA, 2006).

O cobre é o micronutriente menos móvel no solo devido a sua adsorção nos colóides orgânicos e inorgânicos do solo, sendo retido pelos ácidos húmicos e fúlvicos e formando complexos estáveis (ABREU et al., 2007). Portanto, é comum a ocorrência de casos de deficiência de Cu em solos ricos em matéria orgânica. O Cu está presente no solo na forma cuprosa (Cu^+) e na forma cúprica (Cu^{2+}), sendo a forma divalente a mais importante em teores aproximados de $30 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (ABREU et al., 2007).

Após absorvido pelas plantas, o Cu é transportado no xilema através de aminoácidos carreadores, devido à alta afinidade deste elemento com o átomo de nitrogênio (N) (LONERAGAN, 1981), já no floema o Cu apresenta baixa mobilidade. A redistribuição deste nutriente não ocorre em condições de deficiência na planta, isto apenas ocorre quando há teores elevados de Cu^{2+} na planta, podendo assim, se deslocar das folhas para os frutos (FAQUIN, 2005).

Com relação ao manganês, de acordo com Krauskopf (1972 apud ABREU et al., 2007), a concentração de Mn no solo apresenta variação entre $20 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ e $3000 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, sendo $600 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ o teor médio desse nutriente no solo. O Mn pode estar presente em três estados de oxidação no solo: Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+} , a predominância de algum desses estados é influenciada pela aeração do solo, sendo que em condições redutoras predomina Mn^{2+} e em condições oxidantes Mn^{4+} . Além disso, o pH, a matéria orgânica e a presença de outros íons como cálcio, magnésio e ferro podem influenciar na deficiência desse nutriente no solo (KRAUSKOPF apud 1972 ABREU et al., 2007).

Nas plantas, o Mn assim como o Fe, é facilmente translocado pelo xilema, via corrente respiratória, podendo atingir brotações localizadas no ápice da planta (HORST, 1976). No entanto, a translocação e a redistribuição desse elemento nas plantas são limitadas, o que explica a manifestação de deficiência nas folhas novas (FAQUIN, 2005).

O Zn é um elemento muito estudado, por apresentar baixa disponibilidade natural nos solos, além da sua importância no metabolismo vegetal. Malavolta (1994) constatou a frequência de deficiência por micronutriente, considerando o Zn como o elemento com maior número de ocorrência de deficiência na cultura da soja. Ainda, segundo Lopes (2004) a deficiência de Zn é generalizada em áreas recém-abertas para a agricultura no Cerrado. Desse modo, a aplicação de sistemática de Zn nessas áreas tornou-se tradicional.

O Zn apresenta teor médio no solo de 50 mg.dm^{-3} (KRAUSKOPF, 1972 apud ABREU et al., 2007). No solo, o Zn pode estar presente nas formas de hidróxidos, óxidos, carbonatos e sulfatos, podendo estar também na solução do solo, na forma trocável no complexo coloidal, na matéria orgânica (BARBOSA FILHO et al., 1994).

Dentre os fatores que influenciam na disponibilidade de Zn no solo, estão o pH, a matéria orgânica e as interações antagônicas com outros nutrientes. Constatou-se que o Zn apresenta maior disponibilidade em solos com pH na faixa entre os valores de 5,0 e 6,0 (ABREU et al., 2007). Com relação as interações antagônicas, isto ocorre principalmente com o fósforo (P), em que se aplicado em altas doses pode induzir a deficiência de Zn devido as diferentes interações que ocorrem no solo e na planta (ARAÚJO et al., 2003).

O Zn apresenta baixa mobilidade nas plantas e sua translocação está relacionada a senescência da planta, ou seja, durante o enchimento de grãos nas vagens da soja ocorre a translocação desse nutriente das folhas para os grãos, como constatou Wood (1986), através de um experimento que teve como objetivo analisar o teor de Zn em folhas de soja em dois períodos distintos durante o enchimento de grãos da soja.

2.4 Filosofias de aplicação de micronutrientes

Segundo Lopes (1999) existem três filosofias básicas de aplicação de micronutrientes, sendo elas desenvolvidas e adotadas de acordo com o contexto das áreas de cultivo. Essas filosofias são conhecidas como: filosofia de segurança, filosofia de prescrição e filosofia de restituição.

A filosofia de segurança, apresenta características e princípios que se adaptam no contexto histórico do início dos anos 70 nas regiões do Cerrado. É uma estratégia que leva em consideração os possíveis problemas de deficiência de micronutrientes em determinada região, de acordo com a cultura trabalhada e o tipo de solo. Dessa forma, não adotando o uso de análise de solo, ou seja, realizando adubação através de boletins técnicos. Um exemplo disso é a recomendação para culturas de grãos adotada no Estado de Goiás: 6 kg de Zn/ha, 1 kg de Cu/ha, 1 kg de B/ha e 0,25 kg de Mo/ha, sendo aplicados a lanço a cada 5 anos (LOPES, 1999).

A filosofia da prescrição baseia-se em parâmetros e recomendações por meio de análise de solo e planta e ensaios de campo com finalidade de definir doses dos micronutrientes que trariam maior retorno econômico para o produtor (VOLKSWEISS, 1991). Essa estratégia vem substituindo a filosofia de segurança, uma vez que trabalha com recomendações balanceadas através de faixas ideais de aplicação e o parcelamento das doses (LOPES, 1999).

Já a filosofia de restituição vem sendo adotada em áreas que apresentam altas produtividades e, conseqüentemente, alta exportação dos micronutrientes presentes no solo, ou seja, essa filosofia trabalha com doses em função dos tetos de produtividade e a exportação pelas culturas (ABREU et al, 2007).

2.5 Fontes de micronutrientes e formas de aplicação

As fontes de micronutrientes presentes são classificadas como fontes inorgânicas, quelatos sintéticos, complexos orgânicos e óxidos silicatados (“fritas”) (ABREU et al, 2007). Uma vez constatada a necessidade de aplicação, é imprescindível conhecer as fontes de micronutrientes e qual a melhor para determinado caso, dado que estas fontes variam significativamente na sua forma física, reatividade química, custo e eficiência agrônômica (ABREU et al., 2007).

As fontes inorgânicas apresentam na sua composição sais metálicos solúveis em água (sulfatos, cloretos e nitratos), insolúveis em água (óxidos e carbonatos) e constituintes de subprodutos industriais (oxisulfatos) que apresentam solubilidade em água variável (ABREU et al, 2007).

Os quelatos sintéticos constituem da combinação de um metal com um agente quelatizante através de ligações coordenadas. Apesar de apresentarem alta solubilidade os quelatos dissociam-se muito pouco em solução, sendo esta uma grande vantagem do seu uso, uma vez que em condições de pH elevado elementos como o Cu, Fe, Mn e Zn se insolubilizam (VOLKSWEISS,1991). A eficiência dos quelatos podem ser até cinco vezes maiores que as fontes inorgânicas, no entanto seu custo é maior, sendo assim, uma limitação no uso desses produtos em culturas de baixo valor agregado (MORTVEDT, 1999).

Os complexos orgânicos são produzidos através da reação de sais metálicos com subprodutos da indústria de polpa de madeira e outros. Quando comparados aos quelatados sintéticos os complexos orgânicos apresentam menor custo por unidade de micronutriente, porém são menos eficientes e mais rapidamente decompostos pelos microrganismos do solo (MORTVEDT, 2001).

Óxidos silicatados (“fritas”) são obtidos através da fusão de uma ou mais fontes de micronutrientes com silicatos ou fosfatos, que seguem para processos de resfriamento rápido em água, secagem e moagem (MORTVEDT; COX, 1985). Segundo Malavolta (1986), o uso dessa fonte apresenta vantagem de menor risco por toxidez, uma vez que liberam gradualmente os micronutrientes no solo.

Quanto as formas de aplicação de micronutrientes, esta pode ser feita via solo, via folha, no tratamento de sementes e no tratamento de mudas (ABREU et al, 2007). Na aplicação via solo, o objetivo é aumentar a concentração desses elementos na solução do solo, permitindo a absorção pelas raízes e conseqüentemente maior eficiência de utilização pelas plantas (VOLKWEISS, 1991).

A aplicação via solo contém segmentações em relação ao local de aplicação, esta podendo ser em área total (com ou sem incorporação) ou em linhas, faixas e covas, quanto a forma física (granulada, em pó ou em solução), além das fontes de micronutrientes (LOPES, 1999).

2.6 Fertilizantes NPK contendo micronutrientes

As fontes de micronutrientes junto com os formulados NPK se caracteriza pela mistura física de dois ou mais fertilizantes granulados simples contendo nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nas formas de N, P₂O₅ e K₂O (ALCARDE, 2007).

A aplicação de micronutrientes via solo de forma sólida e isolada traz consigo problemas quanto à uniformidade na distribuição desses fertilizantes, devido as baixas quantidades recomendadas por hectare desses elementos. Assim, torna-se necessário alternativas de aplicação como meio de aumentar a eficiência dos micronutrientes para as culturas. Dessa forma, o fornecimento de micronutrientes junto ao NPK na adubação de base tem se tornado habitual (RESENDE, 2005).

2.6.1 Mistura de micronutrientes com grânulos de NPK

A mistura de fertilizantes simples ou formulados NPK com micronutrientes apresenta como principal vantagem a possibilidade de suprir as recomendações tanto de macronutrientes, quanto de micronutrientes (ABREU et al., 2007). Além disso, essa é uma das formas mais utilizadas para a adubação de micronutrientes via solo na agricultura brasileira (LOPES, 1999).

O principal problema que esse tipo de fertilizante manifesta é a possível segregação dos grânulos durante a mistura, ocasionando dificuldades durante o manuseio e aplicação (MORTVEDT, 1991). Portanto, para garantir maior uniformidade, é preciso realizar a mistura

próximo ao momento de aplicação e com tempo de contato suficiente para garantir homogeneidade da mistura (LOPES, 1999).

De acordo com Mortvedt (1991), uma possível solução para o problema de segregação dos grânulos durante o processo de mistura seria a utilização de materiais de granulometria semelhantes, uma vez que uma das causas da segregação é a diferença de tamanho entre os materiais, apesar de estudos citados por Lopes (1999) apresentarem a influência da forma e densidade dos grânulos na segregação.

2.6.2 Micronutrientes incorporados em misturas granuladas, fertilizantes granulados e fertilizantes simples

A incorporação de micronutrientes em misturas granuladas e fertilizantes granulados é um processo que incorpora de forma uniforme os micronutrientes nos grânulos, dessa forma, os problemas de segregação e desuniformidade de aplicação presentes nas misturas de micronutrientes granulados misturado em mistura de grânulos são eliminados (ABREU et al., 2007).

Porém, para a obtenção de misturas granuladas e fertilizantes granulados são necessários processos de alta temperatura, umidade e aumento das reações químicas que podem acarretar em alterações nas características dos micronutrientes incorporados e na sua eficiência agrônômica (LOPES, 1999).

2.6.3 Micronutrientes no revestimento de fertilizantes NPK

Uma outra alternativa para evitar problemas de segregação e gerar maior uniformidade de aplicação, é o uso de fertilizantes NPK revestido com micronutrientes (ABREU et al., 2007). De acordo com Lopes (1999), espera-se que a eficiência agrônômica, a distribuição no solo e as reações após dissolução de micronutrientes revestidos aos grânulos seja semelhante à dos micronutrientes incorporados.

O processo para a obtenção dessa tecnologia consiste no espalhamento da fonte de micronutrientes na forma de pó fino sobre o fertilizante, juntamente com esse processo é pulverizado um agente agregante, que promove a formação de produtos de reação na superfície dos grânulos ou podendo agir como um agregante físico (LOPES, 1999). Segundo Amado (2005), dependendo do material do agente agregante ou ligante pode ocorrer alteração na característica agrônômica do produto final.

Outra preocupação com relação aos agentes agregantes, está relacionado a alguns destes materiais que não conseguem reter o revestimento com micronutrientes durante o ensacamento,

armazenamento e manuseio do fertilizante, o que pode resultar em problemas de segregação e distribuição desuniforme (ABREU et al., 2007).

Para que se tenha distribuição uniforme das pequenas quantidades de micronutrientes, os formulados NPK devem apresentar boas propriedades físicas, através da cura apropriada dos macronutrientes, pelo ajuste adequado do pH do produto final e o armazenamento em condições ideais (NIKITIN, 1967).

Embora seja de uso generalizado, Resende (2005) citou a falta de estudos sobre fontes de micronutrientes misturadas ou incorporadas a fertilizantes NPK.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo na fazenda Palheta, localizada no município de Luminárias- MG, na safra 2019/2020. Os tratamentos utilizados foram: 1) NPK; 2) NPK + micronutrientes em grânulos; 3) NPK + micronutrientes em suspensão concentrada; 4) NPK + micronutrientes em pó; controle (sem adubação). O formulado NPK utilizado foi uma 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 uma betoneira e todos os tratamentos acrescidos de micronutrientes receberam B, Cu Mn e Zn. Utilizou-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.

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 a Tabela 1.

Tabela 1. Composição física e química do solo no local de condução do experimento.

| Profundidade | pH | K | P | Ca | Mg | Al | H+Al | T | V |
|--------------|------------------|--------|---------------------|------|------|------|-------------------------------------|-------|-------|
| | H ₂ O | | mg dm ⁻³ | | | | cmol _c .dm ⁻³ | | % |
| 0 - 20 cm | 5,5 | 122,32 | 3,85 | 2,83 | 0,67 | 0,05 | 3,20 | 7,00 | 54,34 |
| 20 - 40 cm | 4,8 | 70,18 | 1,04 | 2,17 | 0,50 | 0,11 | 4,78 | 7,63 | 37,35 |
| Profundidade | Zn | Fe | Mn | Cu | B | M.O. | Argila | Silte | Areia |
| | | | mg dm ⁻³ | | | | dag kg ⁻¹ | | |
| 0 - 20 cm | 1,73 | 53,01 | 12,65 | 1,08 | 0,29 | 2,40 | 57,00 | 26,00 | 17,00 |
| 20 - 40 cm | 0,98 | 46,50 | 6,66 | 1,02 | 0,25 | 2,54 | 62,00 | 27,00 | 17,00 |

Legenda: H+Al: acidez potencial; CTC (T): capacidade de troca catiônica pH 7,0; V: saturação por bases; MO: matéria orgânica. 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 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 um implemento com quatro linhas de semeadura acoplados a um 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”. Destaca-se que 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, o que garantiu o fornecimento de 246; 418,2; 824,1 e 824,1 g ha^{-1} de B, Cu, Mn e Zn, respectivamente.

Calculou-se o acúmulo dos nutrientes na parte aérea multiplicando-se a massa seca do tecido pelo teor encontrado no mesmo. As plantas amostradas foram separadas (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 análise dos teores dos micronutrientes através do espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OS) conforme Malavolta (1980). O total acumulado decorreu da soma do nutriente acumulado em cada tecido. A produtividade foi estimada a partir da coleta das linhas centrais que haviam sido deixadas intactas até o estádio R8. Coletou-se 2 metros lineares em cada uma destas linhas, totalizando 4m. Essas plantas foram trilhadas para a separação dos grãos. 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.

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade e posteriormente à análise de variância e os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo software SISVAR 5.3® (FERREIRA, 2011).

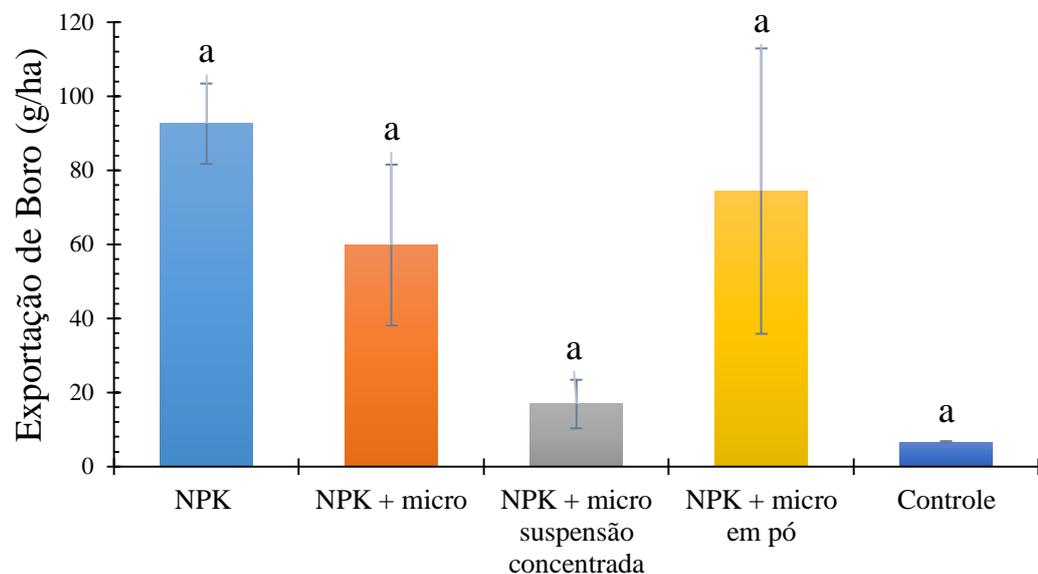
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes a exportação de boro pela cultura da soja no estágio R8 representados na Figura 1 variaram entre 6,61 e 92,58 g/ha. No mesmo estágio os valores de exportação de cobre (Figura 2) variaram entre 45,24 e 59,15 g/ha, os resultados de manganês (Figura 3) variaram entre 125,59 e 155,54 g/ha e com relação aos valores de zinco, os grãos de soja apresentaram valores de exportação entre 158,76 e 197,27 g/ha (Figura 4).

Pôde-se observar que a exportação de B pela soja foi menor se comparado aos demais micronutrientes avaliados. Ainda vale destacar, que apenas 12% do B extraído pela soja foi para os grãos, o que pode ser explicado devido a imobilidade deste nutriente dentro da planta

Os tratamentos dos demais micronutrientes avaliados apresentaram altos valores de exportação, o que pode ser explicado devido a fertilidade construída do solo em questão e maior mobilidade na planta se comparados com o boro.

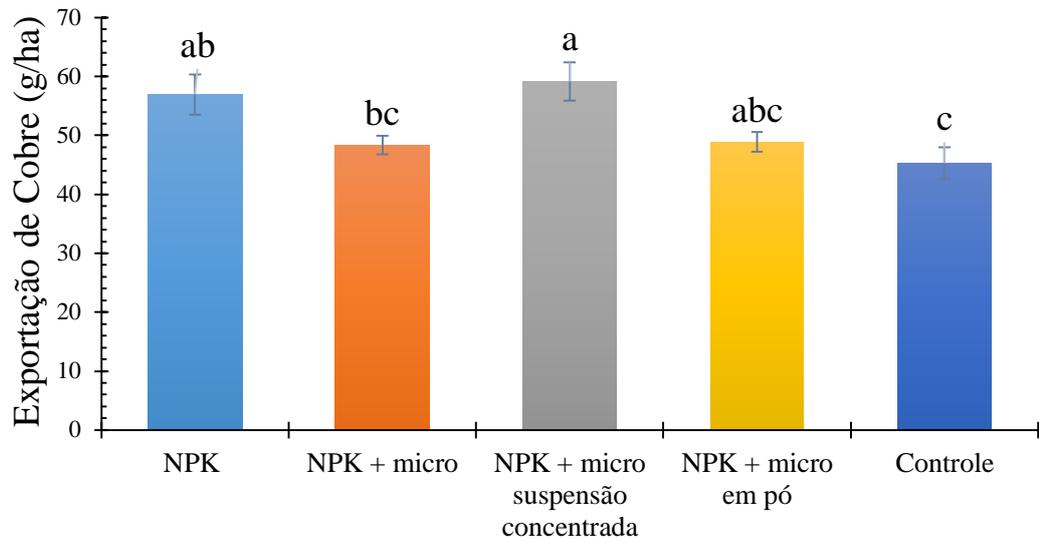
Figura 1 – Exportação média de boro pelos grãos nos tratamentos (g/ha).



Fonte: Do autor (2020).

Os resultados referentes à exportação de Cu pela soja, no tratamento de micronutrientes em suspensão concentrada, apresentou diferença significativa dos demais tratamentos. Essa diferença significativa pode ser explicada pela forma de adição, esta que evita a segregação da mistura. Além disso, a porcentagem média exportada em relação a máxima extração desse nutriente pela cultura foi de aproximadamente 20%.

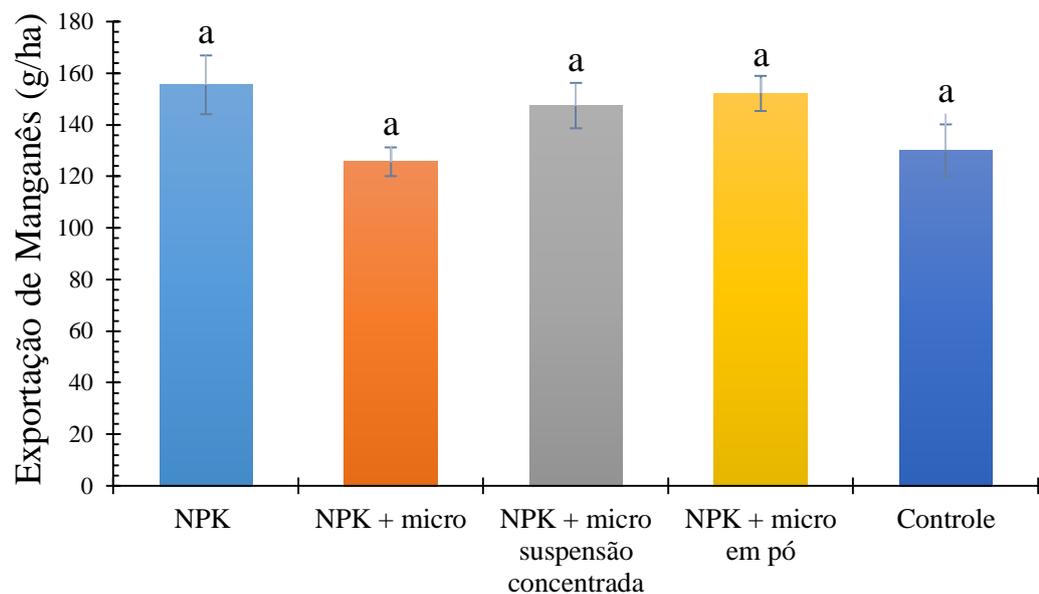
Figura 2 - Exportação média de cobre pelos grãos nos tratamentos (g/ha).



Fonte: Do autor (2020).

No que se refere à extração de Mn, os resultados evidenciados na figura 2 apresentaram que aproximadamente 18% da máxima extração desse nutriente ao longo do ciclo foi para os grãos no estágio R8. De acordo com os resultados, não houve diferença significativa da exportação de Mn entre os tratamentos. Este resultado pode ser explicado, uma vez que o teor desse nutriente encontra-se alto no solo, ou seja, é um solo menos responsivo à adubação de Mn.

Figura 3 - Exportação média de manganês pelos grãos nos tratamentos (g/ha).

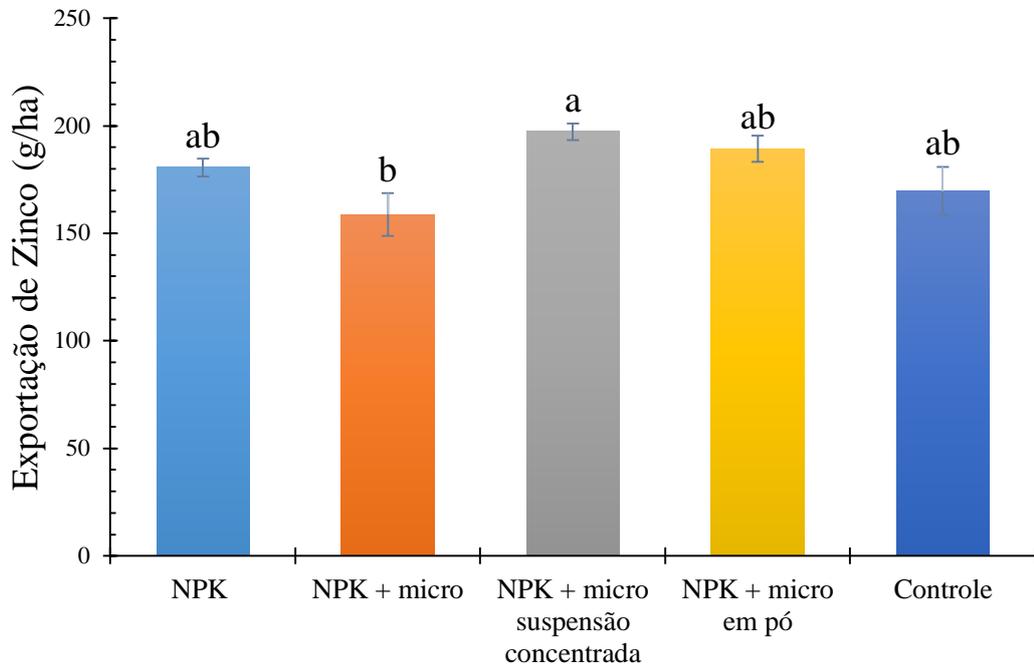


Fonte: Do autor (2020).

O Zn avaliado nos grãos no estágio R8 apresentou resultados de exportação de aproximadamente 43% em relação à máxima extração deste nutriente pela soja. Dessa forma, quase metade do Zn extraído foi para os grãos, fato que pode ser explicado devido à translocação desse nutriente das folhas para as vagens durante o enchimento de grãos, como constatou Wood (1986).

Além disso, o tratamento com micronutrientes em suspensão concentrada diferiu-se estatisticamente. A significância pode ser explicada pela eficiência da forma de adição utilizada, que permitiu menor segregação da mistura.

Figura 4 - Exportação média de zinco pelos grãos nos tratamentos (g/ha).

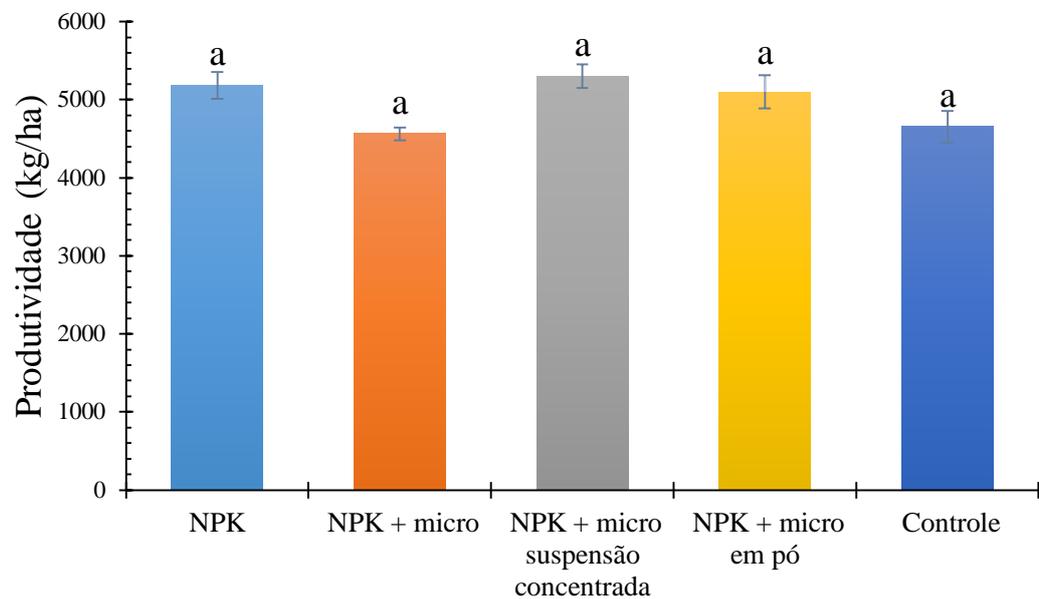


Fonte: Do autor (2020).

Com relação as produtividades da soja (kg/ha) expressas na Figura 5, o tratamento referente ao NPK + micronutrientes em suspensão concentrada apresentou maior produtividade, no entanto, não houve diferença significativa com relação as produtividades referentes aos outros tratamentos. Este fato pode ser esclarecido de acordo com a fertilidade da área, uma vez que os dados da análise de solo indicam condições nutricionais adequadas para o cultivo.

Além disso, foi possível constatar que a ordem crescente de exportações dos micronutrientes pelos grãos foi semelhante a observada por Quarezemin et al (2016), ao estudarem a marcha de absorção em três cultivares de soja. Apresentando a ordem crescente de exportação de Zn > Mn > Cu > B.

Figura 5 – Produtividade média da soja nos diferentes tratamentos (kg/ha).



Fonte: Do autor (2020).

As tabelas 2, 3, 4 e 5 são referentes aos resultados relacionados a extração e exportação de micronutrientes pela cultura da soja.

A tabela 2 refere-se a porcentagem exportada de micronutrientes em relação à máxima extração na cultura da soja. De acordo com a tabela 2, pôde-se perceber que a quantidade exportada dos micronutrientes em questão representam menos que a metade do total extraído pela cultura ao longo do ciclo. Desse modo, grande parte dos nutrientes extraídos do solo irão permanecer na área nos restos culturais, o que reforça a importância da adubação em áreas que exerce a sucessão de culturas.

Tabela 2. Porcentagem exportada de micronutrientes em relação à máxima extração na cultura da soja.

| Porcentagem exportada em relação à máxima extração (g/ha) | | | | |
|---|------|------|------|------|
| Tratamento | Cu | Mn | Zn | B |
| T1 | 25,4 | 19,2 | 41,2 | 19,3 |
| T2 | 19,4 | 15,2 | 38,0 | 15,3 |
| T3 | 12,5 | 23,7 | 40,0 | 2,9 |
| T4 | 23,6 | 18,2 | 50,1 | 20,7 |
| Controle | 17,0 | 17,4 | 48,4 | 1,9 |
| Média | 19,6 | 18,8 | 43,5 | 12,0 |

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. Fonte: Do autor (2020).

Na tabela 3, referente a extração máxima de micronutrientes durante o ciclo da cultura soja, o ponto de máxima extração de B ocorreu nos estádios fenológicos R5 e R6 em todos os tratamentos. Com relação ao Cu, observou-se que o estágio R6 apresentou o maior acúmulo deste nutriente, sendo o maior acúmulo no tratamento referente à suspensão concentrada. A máxima extração do Mn variou entre 621 e 835 g/ha, destacando-se como o nutriente com maior extração pela soja de acordo com os resultados. A maior extração de Mn pode estar relacionada ao seu teor alto no solo, se comparado com os teores dos outros micronutrientes avaliados. A extração máxima de Zn ocorreu nos estádios fenológicos R4 e R6, apresentando valores que variavam entre 351 e 492 g/ha.

Ainda, é possível perceber de acordo com a tabela 3 que todos os estádios fenológicos que apresentaram extração máxima dos micronutrientes são da fase reprodutiva da soja.

Tabela 3. Extração máxima de micronutrientes durante o ciclo da cultura da soja.

| Extração máxima (g/ha) | | | | |
|------------------------|---------|------------|------------|-----------|
| Tratamento | Cu (R6) | Mn (R2/R4) | Zn (R4/R6) | B (R5/R6) |
| T1 | 224,4 | 809,3 | 438,7 | 480,5 |
| T2 | 249,6 | 824,4 | 418,2 | 390,1 |
| T3 | 473,1 | 621,1 | 492,7 | 576,1 |
| T4 | 207,6 | 835,1 | 377,6 | 360,2 |
| Controle | 266,8 | 748,5 | 351,0 | 349,4 |
| Média | 284,3 | 767,7 | 415,6 | 431,3 |

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. Fonte: Do autor (2020).

Na tabela 4, está representado os valores referentes a porcentagem extraída da dose aplicada dos micronutrientes avaliados. O boro apresentou os maiores valores de porcentagem que os demais micronutrientes. Este resultado, pode ser explicado devido à baixa concentração desse nutriente antes da aplicação, o que resultou em uma maior resposta quando submetido às doses aplicadas. No tratamento em suspensão concentrada, o Cu obteve maior resultado do que as outras formas de adição avaliadas.

Tabela 4. Porcentagem extraída de micronutrientes pela soja de acordo com a dose aplicada.

| Porcentagem extraída da dose aplicada (g/ha) | | | | |
|---|----------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Tratamento | Cu (R6) | Mn (R2/R4) | Zn (R4/R6) | B (R5/R6) |
| T1 | 53,7 | 98,2 | 53,2 | 195,3 |
| T2 | 59,7 | 100,0 | 50,7 | 158,6 |
| T3 | 113,1 | 75,4 | 59,8 | 234,2 |
| T4 | 49,6 | 101,3 | 45,8 | 146,4 |
| Controle | 63,8 | 90,8 | 42,6 | 142,1 |
| Média | 68,0 | 93,2 | 50,4 | 175,3 |

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. Fonte: Do autor (2020).

A tabela 5 apresenta a porcentagem de micronutriente exportado pela soja de acordo com a dose aplicada. Os valores de B apresentaram uma maior variação de resultados entre os tratamentos, variando entre 6,9 e 37,6 g/ha. Em contrapartida, o Cu, Mn e Zn apresentaram pouca variação nos valores entre os tratamentos.

Tabela 5. Porcentagem de micronutriente exportado pela soja de acordo com a dose aplicada

| Porcentagem exportada da dose aplicada (g/ha) | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|
| Tratamento | Cu | Mn | Zn | B |
| T1 | 13,6 | 18,9 | 21,9 | 37,6 |
| T2 | 11,6 | 15,2 | 19,3 | 24,3 |
| T3 | 14,1 | 17,9 | 23,9 | 6,9 |
| T4 | 11,7 | 18,5 | 23,0 | 30,2 |
| Controle | 10,8 | 15,8 | 20,6 | 2,7 |
| Média | 12,4 | 17,3 | 21,7 | 20,3 |

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. Fonte: Do autor (2020).

5. CONCLUSÃO

Em áreas de fertilidade construída as produtividades tendem a ser altas mesmo sem a aplicação de micronutrientes, o que dificulta a avaliação das melhores formas de adição de micronutrientes ao NPK.

A quantidade de micronutriente exportado pelos grãos é baixa em relação ao total extraído pela planta, representando menos que a metade do total extraído.

A máxima extração de B, Cu, Mn e Zn ocorrem nos estádios fenológicos reprodutivos da soja.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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)

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 7 - Safra 2019/20 - **Décimo levantamento**, Brasília, 1-32 p., 2020.

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.

FAQUIN, Valdemar. **Nutrição mineral de plantas**. 1. ed. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. p. 73-138.

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.]

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.

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

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. São Paulo, 1982. Boletim Técnico Ultrafertil.

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**.

NIKITIN, 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.

RAIJ, Bernardo Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 1. ed. [S.l.]: IPNI, 2011. p. 275-285.

RESENDE, A.V. Adubação da soja: em áreas de Cerrado: micronutrientes. Embrapa Cerrados, **Documentos,115**. Planaltina, DF, Embrapa Cerrados, 27 p., 2004.

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**.

SEDIYAMA, Tuneo. **Produtividade da Soja**. 1. ed. [S.l.]: Mecenias, 2016. p. 81-98.

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.

TAIZ, L., E. ZEIGER, AND E. R. SANTAREM. 2004. *Fisiologia vegetal [Plant Physiology]*. Porto Alegre: **Artmed**.

TOKESHI, H.1991. Cana-de-açúcar. In: *Micronutrientes na Agricultura*, eds. M.E. Ferreira, and M.C.P. Cruz, pp 485-499. Piracicaba, Brazil: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, and, CNPq.

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**.