



AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ

**EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM MILHO
TRANSGÊNICO SOB DOIS NÍVEIS DE ADUBAÇÃO EM PLANTIO
DIRETO NO CERRADO**

**SETE LAGOAS
2016**



AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ

**EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM MILHO
TRANSGÊNICO SOB DOIS NÍVEIS DE ADUBAÇÃO EM PLANTIO
DIRETO NO CERRADO**

**SETE LAGOAS
2016**

AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ

**EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM MILHO
TRANSGÊNICO SOB DOIS NÍVEIS DE ADUBAÇÃO EM PLANTIO
DIRETO NO CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Vilela de Resende
Coorientador: Prof. Dr. Silvino Guimarães
Moreira

SETE LAGOAS
2016

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M385e Martínez, Aarón Martínez Gutiérrez.
 Extração e exportação de micronutrientes em milho
 transgênico sob dois níveis de adubação em plantio
 direto no cerrado / Aarón Martínez Gutiérrez Martínez ;
 orientador Álvaro Vilela de Resende Resende;
 coorientador Silvino Guimarães Moreira Moreira. --
 Sete Lagoas, 2016.
 51 p.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
 Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São
 João del-Rei, 2016.

 1. Marcha de absorção. 2. Alta produtividade. 3.
 Exigências nutricionais. 4. Nutrição de plantas. 5.
 Zea mays L.. I. Resende, Álvaro Vilela de Resende,
 orient. II. Moreira, Silvino Guimarães Moreira , co
 orient. III. Título.

AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ

**EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM MILHO
TRANSGÊNICO SOB DOIS NÍVEIS DE ADUBAÇÃO EM PLANTIO
DIRETO NO CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Vilela de Resende
Coorientador: Prof. Dr. Silvino Guimarães
Moreira

Sete Lagoas, 8 de julho de 2016

Banca Examinadora:

Dr. Álvaro Vilela de Resende
Dra. Flávia Cristina dos Santos
Dr. Eric Victor de Oliveira Ferreira

Prof. Dr. Álvaro Vilela de Resende - Embrapa
Orientador

DEDICATÓRIA

Dedico este mestrado aos meus pais Antonia e Pablo, meus irmãos e minhas irmãs, meus tios Tomás e Rosa Maria, e a meu primo Uriel Elihu pelo incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela proteção e saúde.

A minha família pelo carinho, apoio e por acreditarem em minhas decisões.

Ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CONACYT), do Governo de México, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao TECNM- Tecnológico Nacional de México, pela oportunidade, e apoio, em especial a Dra. Ofelia Ângulo Guerrero, pela ajuda em tudo momento.

Ao PPGCA - Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São João del-Rei, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

À Embrapa Milho e Sorgo, e funcionários, pela oportunidade de realização do trabalho e apoio na condução do experimento.

A meu orientador o Dr. Álvaro Vilela de Resende, pelos ensinamentos, paciência, apoio, confiança e durante o mestrado, e especial atenção e sugestão nas revisões da dissertação.

Ao Dr. Silvino Guimarães Moreira, pela coorientação e apoio.

À Dra. Flávia Cristina dos Santos e ao Dr. Eric Victor de Oliveira Ferreira pelas sugestões oferecidas compondo a banca examinadora desta dissertação.

Aos todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias que contribuíram na minha formação. Ao Prof. Dr. José Carlos Rufini, pelo apoio e oportunidade.

A Secretaria da pós-graduação, família da Carla, e a Mayara pela calorosa recepção e apoio.

Aos meus amigos e irmãos acadêmicos Denize, Eduardo, Carine, Gabi, Luana, Heider, Luis Artur, Zé Paulo, pela amizade e carinho. Em especial a Denize, Carine, Eduardo e Gabi pelo companheirismo e apoio que tiveram nos momentos mais difíceis.

A todos meus amigos e colegas do mestrado pelas conversas, paciência e experiências compartilhadas.

E todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse sonho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Importância dos micronutrientes em solos de cerrado.....	3
2.2. Extração e exportação de micronutrientes na cultura do milho	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1. Acúmulo de massa seca e produtividade de grãos	14
4.2. Extração de micronutrientes.....	17
4.2.1 Cobre	17
4.2.2 Ferro.....	20
4.2.3 Manganês	22
4.2.4 Zinco	24
4.3 Balanço entre extração e exportação de micronutrientes	26
5. CONCLUSÕES	30
6. BIBLIOGRAFIA	31
7. ANEXOS	37

EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM MILHO TRANSGÊNICO SOB DOIS NÍVEIS DE ADUBAÇÃO EM PLANTIO DIRETO NO CERRADO

RESUMO – A introdução de cultivares de alto potencial produtivo, acompanhada de um adequado manejo agrônômico, tem contribuído para o aumento considerável da produtividade de grãos de milho no Brasil. O objetivo do presente trabalho foi caracterizar a extração e exportação de micronutrientes por híbridos modernos de milho cultivados em plantio direto sob dois níveis de adubação. O experimento foi instalado em 2014/2015, na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas – MG. Dois ambientes de cultivo diferenciaram-se em relação aos níveis de adubação via solo, uso de produtos para tratamento de sementes e adubações foliares. Foram avaliados quatro híbridos transgênicos comerciais. Para cada ambiente, utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Foram realizadas onze amostragens de plantas ao longo do ciclo da cultura para quantificação da produção de massa seca e da extração de Cu, Fe, Mn e Zn. De acordo com a época de amostragem, foram analisados separadamente os compartimentos folha, colmo, palha + sabugo e grãos. O nível de investimento em adubação e a capacidade de produção de massa seca e grãos dos híbridos condicionam diferenças na extração de Cu, Fe, Mn e Zn. A extração de micronutrientes é maior quando um híbrido com potencial mais elevado de produção de biomassa é cultivado em ambiente com maior oferta de nutrientes. A absorção desses micronutrientes persiste ao longo do ciclo do milho, inclusive durante os estádios finais da fase reprodutiva, evidenciando demanda tardia pela cultura. Em média, as taxas de extração de Cu, Fe, Mn e Zn são, respectivamente, da ordem de 8, 199, 58 e 40 g por tonelada de grãos produzida pelos híbridos. As frações acumuladas nos grãos correspondem a 23, 5, 8, 42% do total absorvido, equivalendo à exportação de cerca de 2, 11, 4 e 17 g t⁻¹ de grãos para Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. Em geral, os híbridos transgênicos avaliados apresentaram níveis de extração e exportação de micronutrientes semelhantes ou inferiores aos reportados na literatura.

Palavras-chave: Marcha de absorção, alta produtividade, exigências nutricionais, nutrição de plantas, *Zea mays* L.

UPTAKE AND REMOBILIZATION OF MICRONUTRIENT IN TRANSGENIC MAIZE UNDER TWO FERTILIZATION RATES IN NO-TILLAGE IN THE CERRADO

ABSTRACT - The introduction of high productive potential cultivars accompanied by an appropriate agronomic management has contributed to the considerable increase in productivity of maize in Brazil. The objective of this study was to characterize the accumulation and remobilization of micronutrients by modern maize hybrids grown under no-tillage under two rates of fertilization. The experiment was conducted in 2014/2015 at Embrapa Maize e Sorghum, in Sete Lagoas - MG. Two cultivation environments differed in relation to fertilizer rates in the soil, use of products for seed treatment and foliar fertilizers. Four commercial transgenic maize hybrids were evaluated. For each environment, we used the experimental randomized complete block design with four replications. Eleven samples of plants were collected throughout the crop cycle to quantify the dry matter production and accumulation of Cu, Fe, Mn and Zn. According to the sampling time, the shoot compartments, stem, straw + cob and grains were analyzed separately. The level of investment in fertilizer and the capacity of dry matter accumulation and grain production of hybrids determine differences in accumulation of Cu, Fe, Mn and Zn. The accumulation of micronutrients is greater when a hybrid with higher potential of biomass production is cultivated in an environment with increased supply of nutrients. The uptake of these micronutrients persists through the maize cycle including during the final maturity stages, which indicates delayed demand for the crop. On average, the accumulation rates of Cu, Fe, Mn and Zn are respectively in the order of 8, 199, 58 and 40 g per ton of grain produced by the hybrids. The cumulative fractions of the grains corresponding to 23, 5, 8, 42% of the total uptake, which is equivalent to removal in about 2, 11, 4 and 17 g t⁻¹ grain to Cu, Fe, Mn and Zn, respectively. In general, the evaluated transgenic hybrids had accumulation and remobilization levels of micronutrients similar or lower than those reported in the literature.

Keywords: Nutrient uptake, high-yield, nutritional demand, plant nutrition, *Zea mays* L.

1. INTRODUÇÃO

O milho é uma das espécies agrícolas de maior importância econômica e social no mundo. Além de ser uma das principais fontes de alimentação humana, se destaca pela sua utilização como silagem, ração animal e matérias primas para diversos produtos industriais, gerando empregos diretos e indiretos. O Brasil é o terceiro produtor mundial de milho, com 15,5 milhões de hectares cultivados, e com uma produção de 81,8 milhões de toneladas (CONAB, 2016). Apesar de ter as condições climáticas favoráveis para produção de grãos nas diversas regiões, a produtividade média brasileira ainda é relativamente baixa, com $5,3 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos.

Entretanto, tem havido incremento considerável na produtividade graças à adoção de tecnologias como a utilização de cultivares de alto potencial produtivo, aliada ao uso de corretivos e fertilizantes, bem como pelo processo constante de inovação no manejo das lavouras. Tais fatores têm contribuído para o aumento da produtividade nos últimos anos e, levando-se em consideração os custos de produção envolvidos, o resultado final se traduz em geração de renda aos agricultores e à economia nacional (FERREIRA, 2009).

Os solos tropicais, principalmente na região do Cerrado, se caracterizam pelo elevado grau de intemperismo e pelos baixos teores de nutrientes na forma disponível às plantas, além da elevada acidez (LOPES, 1983). Nessa situação, na busca das melhores respostas produtivas nos sistemas de produção requer gastos significativos com corretivos e fertilizantes, tanto para a construção da fertilidade inicial quanto para sua manutenção e reposição de nutrientes em longo prazo (RESENDE et al., 2012; WILDA, 2014).

Existe um grande número de cultivares de milho disponível no mercado brasileiro de sementes, resultado dos processos contínuos de melhoramento genético, com desenvolvimento de materiais adaptados às diferentes condições de clima e solo das regiões de cultivo (MACHADO et al., 1999; SHIOGA et al., 2012; PINOTTI, 2013). A adoção generalizada de híbridos transgênicos de milho foi uma das inovações mais impactantes na agricultura brasileira na última década. As cultivares transgênicas resistentes a lagartas constituem opções importantes para o manejo da cultura, podendo ser inseridas nos diferentes sistemas de produção, reduzindo os prejuízos ocasionados pelas pragas (EMBRAPA, 2007). Estudos realizados por Benicio e Hanauer (2010) e Farinelli e Junior (2014) apontaram que híbridos transgênicos apresentaram melhor desempenho em comparação com os convencionais, sendo, em média, 27% mais produtivos.

Em razão do trabalho de melhoramento genético no Brasil, há constante renovação dos híbridos disponíveis aos agricultores, agregando maior potencial produtivo, eventos de transgenia e ciclo mais precoce. Os sistemas de cultivo também são dinâmicos e evoluem pela inclusão de novas tecnologias de manejo do solo e das culturas, sendo cada vez mais frequente a utilização do milho em combinação com outras espécies no sistema plantio direto. Num cenário como esse, não se sabe ao certo se as recomendações de adubação baseadas em dados antigos de absorção de micronutrientes são adequadas para garantir as exigências nutricionais, de forma a proporcionar a expressão do potencial de rendimento das cultivares mais modernas (VON PINHO et al., 2009; BENDER et al., 2013) e manter a estabilidade produtiva do sistema de culturas como um todo.

As exigências nutricionais do milho diferem quanto à extração de nutrientes e à remobilização destes dos diferentes órgãos da planta para os grãos (VANCONCELLOS et al., 1998). Assim, conhecer as particularidades dos nutrientes, a quantidade e a época mais adequada para o seu fornecimento, são requisitos para o equilíbrio nutricional da planta, de forma a possibilitar a máxima expressão do seu potencial genético.

O conhecimento da dinâmica de absorção de nutrientes nos diferentes estádios fenológicos do milho permite determinar o potencial de resposta à adubação e as épocas de maior exigência nutricional da cultura (CIAMPITTI e VYN, 2013). As curvas de absorção ao longo do ciclo refletem as quantidades de nutrientes que a planta necessita. Contudo, não indicam diretamente quanto deve ser aplicado na adubação, uma vez que é preciso considerar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes, que é muito variável segundo as condições climáticas, ambientes e o manejo agrônomico (CASTOLDI et al., 2009).

Segundo Vasconcellos et al. (1998), diversos trabalhos demonstraram haver diferenças genéticas na absorção de nutrientes e na eficiência de conversão de assimilados em produção de grãos de milho. Estes autores, estudando o comportamento de híbridos de milho em relação ao acúmulo de massa seca e à eficiência de conversão de nutrientes, detectaram diferenças entre cultivares quanto à capacidade de extração de nutrientes.

Embora tenha havido notável avanço nas pesquisas sobre fertilidade do solo e nutrição de plantas no Brasil nas últimas décadas, faltam informações atualizadas quanto às exigências nutricionais do milho, especialmente em relação aos requerimentos dos micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), molibdênio (Mo) e níquel (Ni). Há poucos dados recentes sobre marcha de absorção de nutrientes e a maioria das publicações foca principalmente os macronutrientes, elementos mais demandados pela cultura. Em geral, os trabalhos disponíveis foram desenvolvidos utilizando cultivares antigas,

com menor potencial produtivo que as atuais, e em cultivos com preparo convencional do solo. Não há dúvida que informações atualizadas sobre aspectos nutricionais são fundamentais para o aumento da eficiência no manejo, proporcionando ganhos em produtividade e otimizando os custos da lavoura, pela utilização racional e eficiente dos fertilizantes. Esse contexto justifica a realização de pesquisas que contemplem cultivares mais modernas, identificando as quantidades mínimas de micronutrientes que devem ser restituídas para fins de manutenção da capacidade produtiva do solo ao longo dos ciclos de cultivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância dos micronutrientes em solos de cerrado

A agricultura brasileira passa por uma fase em que a produtividade, a eficiência, a lucratividade e a sustentabilidade dos processos produtivos são de grande relevância. Nesse contexto, os micronutrientes, cuja importância é conhecida há décadas, apenas mais recentemente passaram a ser utilizados de modo mais rotineiro nas adubações em várias regiões e para diferentes condições de solo, clima e culturas no Brasil (ABREU et al., 2007).

Por definição, os micronutrientes, são requeridos em quantidades muito pequenas pelas plantas. Composto esse grupo, boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) são considerados elementos essenciais (EPSTEIN e BLOOM, 2005; DECHEN e NACHTIGALL, 2006). Apesar da pequena exigência vegetal, a deficiência de um deles pode ter tanto efeito na desorganização de processos metabólicos quanto a deficiência de um macronutriente como o nitrogênio, por exemplo (COELHO e FRANÇA, 1995).

A importância dos micronutrientes para as plantas é evidenciada quando se observam as quantidades acumuladas. Os micronutrientes são mantidos em concentrações relativamente baixas nos tecidos vegetais, expressas em mg kg^{-1} de matéria seca, enquanto a concentração de macronutrientes é quantificada em g kg^{-1} de massa seca. Não obstante, reduções na produtividade e até mesmo a morte das plantas são consequências naturais advindas de desequilíbrios nos processos metabólicos ocasionados pela carência de micronutrientes (ORLANDO FILHO, 1993). Muitas vezes, as vantagens advindas do fornecimento dos micronutrientes não são observadas em aumento de produtividade, mas no vigor das plantas, na tolerância às doenças e pragas, e na qualidade do produto colhido (FANCELLI, 2010).

O consumo de micronutrientes na agricultura brasileira cresceu ao longo do tempo, permitindo um balanço positivo entre a entrada por meio dos fertilizantes e corretivos e a saída via colheitas, melhorando a fertilidade do solo e promovendo espetacular aumento na produção agrícola, com de ganhos de produtividade (ABREU et al., 2007).

Segundo Lopes e Sousa (2001), os principais motivos da utilização de fertilizantes contendo micronutrientes foram o desenvolvimento de variedades com alto potencial produtivo que apresentam maior demanda nutricional, as perdas anuais de solo por erosão e a geração de tecnologias de cultivo voltadas para regiões onde os solos são naturalmente pobres em micronutrientes, como é o caso do Cerrado. Todavia, nem sempre a adubação com micronutrientes tem recebido maior atenção do agricultor em relação à manutenção da fertilidade do solo.

Diversos estudos evidenciam a obtenção de consideráveis ganhos de produtividade por causa da aplicação de micronutrientes, sobretudo Zn e B, em solos de cerrado (RESENDE, 2005). Galvão (1994), comparando métodos de aplicação de Zn na cultura do milho, verificou aumento na produção de grãos em resposta à aplicação do sulfato de zinco a lanço, no sulco de semeadura e via foliar. Na região do Cerrado, a adição de Zn aumenta a produtividade de milho e de arroz com maior frequência do que no caso da soja (GALRÃO, 1988). Lana et al. (2008) observaram que a aplicação de Zn e Mn em tratamento de semente e via foliar promoveu incremento de produtividade de grãos de milho de 16,5% e 17,25%, respectivamente, em relação ao tratamento que não teve fornecimento desses micronutrientes.

No caso do Cu, estudos conduzidos com milho em solos do cerrado (BRITTO et al., 1971; GALRÃO e MESQUITA FILHO, 1981; GALRÃO, 1984) e em solos de várzea (ABREU et al., 1987) não mostraram efeitos positivos à aplicação deste micronutriente. Dos trabalhos conduzidos em diferentes locais por Gallo et al. (1976), em apenas em dois experimentos foi evidenciada correlação positiva entre níveis foliares de Cu e produção de grãos de milho.

Com a aplicação a lanço de 2 kg ha⁻¹ de Cu no cultivo da soja em Latossolo Vermelho-Amarelo, Galvão (1991) obteve resposta positiva, aumentando 0,58; 0,41 e 0,47 t ha⁻¹ de grãos no segundo, terceiro e quarto cultivos, respectivamente. Nesse caso, a aplicação de Cu apenas por ocasião do primeiro cultivo foi suficiente para manter rendimentos favoráveis em quatro cultivos sequenciais, evidenciando o prolongado efeito residual desse micronutriente (GALRÃO, 2004).

O Fe é considerado como elemento chave nas transformações de energia nas plantas (BÜLL, 1993), mas muitas vezes não se encontra disponível para a absorção, em razão da

baixa solubilidade da sua forma oxidada. A deficiência de ferro, leva à clorose, por causa da diminuição na biossíntese de clorofila e no desenvolvimento do cloroplasto, afetando ainda o aparato fotossintético (RAMIREZ et al., 2011). Desse modo, a disponibilidade de ferro está relacionada com a produtividade da planta. Entretanto, diversos trabalhos citados por Büll (1993) mostram que, em solos brasileiros, as respostas da cultura do milho às aplicações desse micronutriente são praticamente inexistentes, levando a inferir que geralmente os teores Fe em solos da região do Cerrado são satisfatórios para o desenvolvimento das plantas, sendo sua disponibilidade natural interpretada como adequada (VENDRAME et al., 2007).

Portanto, os micronutrientes devem ser fornecidos quando realmente for necessário. As quantidades a serem aplicadas aos solos variam com as espécies e com o tipo do solo. A necessidade de micronutrientes deve ser fundamentada nos resultados de análises de solo e foliar, no histórico da área e na produtividade esperada. Para o Cerrado brasileiro, nos solos que apresentam teores baixos de micronutrientes, a recomendação geral consiste da aplicação a lanço de 2, 6 e 6 kg ha⁻¹ de Cu, Mn e Zn, respectivamente (MALAVOLTA, 1986; FERREIRA e CRUZ, 1991; GALRÃO, 2004). Em solos com nível médio de disponibilidade, pode-se aplicar no sulco 25% das doses recomendadas a lanço e, em nível alto, não a adubação não é necessária. Para os estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina, recomenda-se o fornecimento de 0,65 a 1,3 e 1,0 a 2,0 kg ha⁻¹ de Cu e Zn, respectivamente (BISSANI e BOHNEN, 2004).

2.2. Extração e exportação de micronutrientes na cultura do milho

As necessidades nutricionais de plantas de milho são definidas pela quantidade total de nutrientes extraídos, seja da reserva natural do solo ou derivada da aplicação de fertilizantes (COELHO e FRANÇA, 1995). Entende-se por acúmulo de nutrientes, as quantidades destes na massa seca de cada parte da planta (raiz, folha, caule, palha, sabugo e grãos), e por absorção ou extração os totais dos acúmulos de nutrientes nas diferentes partes. A quantidade do elemento retirada da área de plantio pelos produtos da colheita é denominada exportação, o que depende da finalidade da cultura para produção de grãos, milho-verde ou forragem (MALAVOLTA et al., 1997).

Conforme destacado por Vitti et al. (2011), os micronutrientes desempenham funções vitais no metabolismo das plantas, quer como parte de compostos responsáveis por processos metabólicos e fisiológicos, quer como ativadores enzimáticos. Os requerimentos nutricionais dependem do rendimento obtido e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada. Por

exemplo, para uma produção equivalente a 9 t ha⁻¹ de grãos, são extraídos pelas plantas de milho cerca de 170 g de B, 110 g de Cu, 2.100 g de Fe, 340 g de Mn, 400 g de Zn e 9 g de Mo.

Um dos trabalhos pioneiros no Brasil foi realizado por Andrade et al. (1975b), que avaliaram a extração de micronutrientes por cinco cultivares de milho (AG 256, AG 504, Centralmex, H-7974 e Piranão), observando a seguinte variação (em g ha⁻¹): 103 a 146 de Cu; 1.334 a 1.815 de Fe; 496 a 720 de Mn, e 294 a 335 de Zn. Posteriormente, Hiroce et al. (1989), considerando as médias de 10 populações e híbridos no Brasil, relataram que, para a produção de uma tonelada de grãos de milho, são extraídos 14 g de Cu e 65 g de Zn.

Segundo Ritchie et al. (2003), as quantidades de nutrientes absorvidas no início do ciclo do milho são pequenas, mas as concentrações de nutrientes no solo que circunda as raízes da planta naquela fase geralmente devem ser altas. Büll (1993) relata que, para Mn e Zn, o pico de absorção ocorre aos 80 dias após a germinação e as quantidades requeridas seriam de 656 e 332 g ha⁻¹, respectivamente, para uma produtividade de 5,9 t ha⁻¹ de grãos. No caso de Fe e Cu, o pico de absorção é mais tardio, ocorrendo por volta dos 100 dias, sendo a exigência em Fe e Cu correspondente a 1.610 e 150 g ha⁻¹, respectivamente. No trabalho de Andrade et al. (1975b), conduzido em Regossolo de média fertilidade no município de Piracicaba – SP, os períodos de absorção máxima pelas cultivares estudadas foram relativamente tardios, situando-se entre 101 a 104, 106 a 120, 82 a 94, e 87 a 108 dias após a germinação para Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente.

Borges (2006) destaca que a acumulação dos micronutrientes Cu, Mn e Zn na parte aérea de dois cultivares de milho (GNZ 2004 e P 30F33), em experimento conduzido em Lavras – MG, foi praticamente nula até os 29 dias após a emergência, sendo o acúmulo máximo obtido sempre após os 100 dias, coincidindo com a segunda metade do período de enchimento de grãos. Nos Estados Unidos (EUA), considerando a média de seis cultivares e dois locais, Bender et al. (2013) observaram que mais de dois terços da absorção de Fe e Mn e metade da absorção de Cu e Zn ocorreram antes da floração. Assim sendo, comprova-se a importância da aquisição desses micronutrientes pela planta não só ao longo da fase vegetativa, mas também durante a fase reprodutiva.

No cultivo de milho para produção de grãos, a exportação de nutrientes é menor do que quando o objetivo é a produção de silagem, visto que, neste caso, todos os nutrientes contidos na parte aérea são removidos da lavoura com o corte das plantas inteiras. Malavolta et al. (1997) relatam que, para um rendimento de 9,0 t ha⁻¹ de grãos, foram exportados 20 g de Cu, 100 g de Fe, 50 g de Mn e 170 g de Zn. Dados reportados por Pauletti (2004), para um

rendimento de 9,6 t ha⁻¹ de grãos, trazem a seguinte exportação: 11,5 g de Cu; 111 g de Fe; 58,5 g de Mn; e 265 g de Zn. Martínez et al. (2015), avaliando teor nos grãos e exportação de micronutrientes pelo milho em dois níveis de investimento tecnológico, observaram que para uma produtividade de 12,9 t ha⁻¹ foram exportados 27 g de Cu, 45 g de Fe, 58 g de Mn, e 182 g de Zn.

Percebe-se que as taxas de extração e exportação de micronutrientes por genótipos de milho variam substancialmente. Em parte, as diferenças se devem à variabilidade genética, que proporciona comportamento distinto entre cultivares (FERREIRA, 2009). Além disso, os padrões de exportação de nutrientes pelo milho têm relação direta com a produtividade obtida (COELHO e FRANÇA, 1995; COELHO e RESENDE, 2008; BENDER et al., 2013), sendo ainda dependentes dos níveis de disponibilidade existentes no solo de diferentes ambientes de produção (PADILHA et al., 2015).

Em relação ao ambiente de cultivo, uma modificação importante na agricultura brasileira tem sido a substituição gradual do sistema de preparo convencional do solo pelo plantio direto. O preparo intensivo nas áreas de produção atua desagregando as partículas da camada superficial do solo (KLUTHCOUSKI, 1998), acelerando a oxidação da matéria orgânica, e gerando compactação, o que leva à diminuição de infiltração de água e ao aumento nas perdas por erosão. Em contraposição a esse cenário, o sistema plantio direto tem como princípios básicos o mínimo revolvimento do solo e a rotação de culturas, junto à permanente manutenção de palhada na superfície (FRANCHINI et al., 2011). Com isso, há decomposição mais lenta dos resíduos vegetais, proporcionando o aumento o teor de matéria orgânica, o que favorece a fertilidade dos solos tropicais (FERREIRA et al., 2009), incluindo o suprimento de micronutrientes.

Nas últimas décadas, estão sendo adotadas melhores práticas agrícolas no Brasil, buscando aumento da produtividade e sustentabilidade. Sistemas conservacionistas como o plantio direto têm proporcionado maior aporte de resíduos vegetais e aumento no conteúdo de matéria orgânica (SÁ et al., 2001; CIOTTA et al., 2002; BAYER et al., 2004), incrementando também a disponibilidade das formas mais solúveis de micronutrientes catiônicos na solução do solo (PEGORARO et al., 2006). Ambientes com maior quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo também estimulam o desenvolvimento radicular (SÁ et al., 2007; FERREIRA et al., 2009) e, conseqüentemente, aumentam a capacidade na absorção e acúmulo de nutrientes pelas culturas.

Em geral, os trabalhos brasileiros sobre a marcha de absorção de nutrientes na cultura do milho foram realizados décadas atrás. Muitos dos dados sobre extração e exportação de

micronutrientes foram gerados a partir de experimentação com preparo de solo por meio de aração e gradagem, com cultivares diferentes das atualmente disponíveis no mercado e para níveis de produtividade abaixo dos alcançados nas melhores lavouras. Portanto, a falta de informações recentes sobre demanda nutricional de micronutrientes constitui incertezas na busca por aprimoramentos de manejo da adubação em sistemas de produção envolvendo o milho. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivos caracterizar a marcha de absorção e determinar a extração e exportação de Cu, Fe, Mn e Zn por híbridos transgênicos, cultivados sob dois níveis de adubação num Latossolo em plantio direto na região do Cerrado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no ano agrícola 2014/2015, na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, situada a 19°28'30" de latitude S, 44°15'08" de longitude W, a uma altitude de 732 m, em Sete Lagoas – MG. O clima, segundo Köppen, é do tipo Aw, ou seja, típico de Savana, com inverno seco e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18 °C. A área experimental é constituída de Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2013), com textura muito argilosa (660 g kg⁻¹ de argila).

Em 2012, a área foi dividida em dois ambientes condicionados sob médio ou alto investimento tecnológico em adubação (PADILHA et al., 2015) e, desde então, essa diferenciação vem sendo mantida por meio de manejo distinto da adubação em cada ambiente. Nas safras de verão em 2012/2013 e 2013/2014 foram conduzidos cultivos comparando o desempenho de híbridos de milho, os quais sempre receberam maior adubação de manutenção no ambiente de alto investimento. Na entressafra de 2013, foram semeados milheto + crotalária como plantas de cobertura nos dois ambientes e, na entressafra de 2014, foi cultivado feijão. Em ambos os cultivos de entressafra não se utilizou adubação de semeadura, aplicando-se 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura com sulfato de amônio para o feijoeiro, sendo realizada irrigação complementar.

Em novembro de 2014, previamente à instalação do experimento do presente estudo, foram aplicados a lanço, no ambiente de alto investimento, 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, 1 t ha⁻¹ de gesso e 200 kg ha⁻¹ de mistura 3:1 de cloreto de potássio e FTE BR 12 (Tabela 1), com a finalidade de proporcionar condições diferenciais de fertilidade do solo naquele ambiente.

No dia 17 de dezembro de 2014, foram semeados quatro híbridos transgênicos de milho (Tabela 2) nos ambientes de alto e médio investimento em adubação, utilizando

semeadora de parcelas em espaçamento de 0,5 m entre linhas e 70.000 sementes por hectare. O cultivo foi conduzido com irrigação complementar, sendo manejado sob sistema plantio direto.

Em cada ambiente, o delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. As parcelas constituíram-se de quatro linhas de 6 m de comprimento, sendo considerada como área útil as duas linhas centrais com bordaduras de um metro nas extremidades (4 m^2). Foram estabelecidas parcelas extras de cada tratamento em cada bloco, de modo a se utilizar uma parcela para a coleta de plantas ao longo do ciclo para determinação da marcha de absorção de micronutrientes, e outra para avaliação da produtividade após a maturação fisiológica.

Para o ambiente de alto investimento, as sementes foram tratadas com o inseticida Cropstar[®] (imidacloprido + tiodicarbe, $350 \text{ mL } 100 \text{ kg}^{-1}$), mais o fertilizante Biozyme[®] ($600 \text{ mL } 100 \text{ kg}^{-1}$). No caso do ambiente de médio investimento, as sementes receberam somente o inseticida. Na adubação de semeadura foram utilizados 500 e 340 kg ha^{-1} da fórmula NPK 08-28-16 + 0,3 % de B, correspondendo a alto e médio investimento, respectivamente (Tabela 1).

Aos 20 dias após semeadura (DAS), quando as plantas atingiram o estágio fenológico V4 (RITCHIE et al., 2003), foi realizada uma adubação de cobertura em ambos os ambientes, com 90 kg ha^{-1} de N (200 kg ha^{-1} de ureia). No ambiente de alto investimento, foram realizadas ainda mais duas adubações de cobertura, fornecendo-se 70 kg ha^{-1} de N e de K_2O (350 kg ha^{-1} de NPK 20-00-20) aos 27 dias após semeadura, no estágio fenológico V5; e 40 kg ha^{-1} de N + 44 kg ha^{-1} de S (200 kg ha^{-1} de sulfato de amônio) aos 33 dias após semeadura, no estágio V7. Por fim, ainda no estágio V7, foi realizada adubação foliar no ambiente de alto investimento com uma mistura dos fertilizantes Biozyme[®] (2 L ha^{-1}), fosfato monoamônico - MAP ($2,5 \text{ kg ha}^{-1}$) e nitrato de cálcio ($1,5 \text{ kg ha}^{-1}$), utilizando pulverizador costal (Tabela 1).

Tabela 1 - Manejo da adubação e tratos culturais em ambientes com dois níveis de investimento tecnológico. Sete Lagoas-MG, safra 2014/2015.

Insumos	Ambiente de alto investimento	Ambiente de médio investimento	Época de aplicação
Manejo da fertilidade do solo			
Calcário dolomítico	2 t ha ⁻¹	-	Pré-semeadura
Gesso	1 t ha ⁻¹	-	Pré-semeadura
Cloreto de potássio e FTE BR 12 (1,8% B; 0,8% Cu; 2,0% Mn; 0,1% Mo; 9,0% Zn)	200 kg ha ⁻¹	-	Pré-semeadura
Adubação base NPK 08-28-16 + 0,3% B	500 kg ha ⁻¹	340 kg ha ⁻¹	Semeadura
1ª adubação de cobertura Ureia (45% N)	200 kg ha ⁻¹	200 kg ha ⁻¹	V4
2ª adubação de cobertura NPK 20-00-20	350 kg ha ⁻¹	-	V5
3ª adubação de cobertura Sulfato de amônio (20% N; 24% S)	200 kg ha ⁻¹	-	V7
Biozyme [®] foliar (1,73% N; 5% K ₂ O; 0,08% B; 0,49% Fe; 2,1% S; 2,45% Zn; 1,0% Mn; 3,5% Co)	2,5 L ha ⁻¹	-	V7
Fosfato monoamônico – MAP foliar (54% P ₂ O ₅ ; 10% N)	2,5 kg ha ⁻¹	-	V7
Nitrato de cálcio foliar	1,5 kg ha ⁻¹	-	V7
Tratamento de sementes			
Insecticida Cropstar [®] (imidacloprido + tiodicarbe)	350 mL 100 kg ⁻¹	350 mL 100 kg ⁻¹	-
Bioestimulante Biozyme [®] (1,73% N; 5% K ₂ O; 0,08% B; 0,49% Fe; 2,1% S; 2,45% Zn; 1,0% Mn; 3,5% Co)	600 mL 100 kg ⁻¹	-	-
Manejo fitossanitário			
Herbicida: Roundup WG [®] (Glifosato) 2,5 kg ha ⁻¹	+	+	Pré-semeadura
Herbicida: Soberan [®] (Tembotriona) 240 mL ha ⁻¹	+	+	V4
Herbicida: Atrazina Nortox [®] (Atrazina) 3L ha ⁻¹	+	+	V4
Inseticidas: Match (Lufenuron) 300 mL ha ⁻¹	+	+	V6-V7
Inseticidas: Belt (Flubendiamida) 150 mL ha ⁻¹	+	+	V6-V7

Tabela 2 - Características agronômicas dos híbridos de milho utilizados.

Cultivar	Tipo	Ciclo	Empresa
AG 8088 PRO X *	Híbrido simples	Precoce	Monsanto
DKB 310 PRO 2 *	Híbrido simples	Precoce	Monsanto
DKB 390 PRO *	Híbrido simples	Precoce	Monsanto
P 30F53 YH *	Híbrido simples	Precoce	Pioneer

* Tecnologia de resistência a lagartas.

Aos 20 dias após a semeadura (estádio V4), foi realizada coleta de solo para caracterização das condições de fertilidade para o cultivo de milho, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. As amostras compostas constituíram-se de 6 amostras simples, com 1/3 delas coletadas nas linhas e 2/3 nas entrelinhas de adubação. As análises laboratoriais seguiram metodologias descritas em Silva (2009). As condições médias de fertilidade do solo nos dois ambientes de investimento em adubação são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Atributos da fertilidade do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, para o cultivo de milho sob dois níveis de investimento em adubação. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Atributo	Investimento em adubação			
	Alto	Médio	Alto	Médio
	Prof. 0-20 cm		Prof. 20-40 cm	
Mat. Org. (dag kg ⁻¹)	3,9	4,1	3,3	3,3
pH em água	6,0	6,1	6,1	6,1
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0	0,0	0,0
H+Al (cmol _c cm ⁻³)	6,8	5,6	6,9	5,5
P Mehlich ⁻¹ (mg dm ⁻³)	22	14	5	2
K ⁺ (mg dm ⁻³)	159	54	70	17
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	5,7	6,2	4,1	4,7
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,2	1,0	0,9	0,8
S.B. (cmol _c dm ⁻³)	7,3	7,3	5,1	5,6
CTC (cmol _c dm ⁻³)	14,1	13,0	12,1	11,1
Saturação por Base (%)	52	57	42	50
Saturação por Al (%)	0	0	0	0
B (mg dm ⁻³)	1,8	1,1	1,3	0,9
Cu (mg dm ⁻³)	0,5	0,9	0,9	0,6
Fe (mg dm ⁻³)	18,5	28,1	18,8	30,7
Mn (mg dm ³)	9,2	54,3	7,0	32,8
Zn (mg dm ⁻³)	3,8	3,4	1,5	1,0

O cultivo deu-se em período de ocorrência de temperaturas adequadas, apresentando, contudo, distribuição irregular de chuvas ao longo do ciclo do milho (Figura 1). Dessa forma, utilizou-se irrigação complementar para os dois ambientes quando necessário. Para o controle de plantas daninhas, foi realizada dessecação com Roundup WG[®] (glifosato, 2,5 kg ha⁻¹) antecedendo a semeadura, e aplicação dos herbicidas Soberan[®] (tembotriona, 240 mL ha⁻¹) e Atrazina Nortox[®] (atrazina, 3 L ha⁻¹) quando o milho se apresentava no estágio V4. Para o controle de lagarta (*Spodoptera frugiperda*), foram realizadas aplicações dos inseticidas Match (lufenuron, 300 mL ha⁻¹) e Belt (flubendiamida, 150 mL ha⁻¹), por meio de pulverizador costal com jato dirigido ao cartucho da planta, nos estádios V6 e V7, respectivamente (Tabela 1).

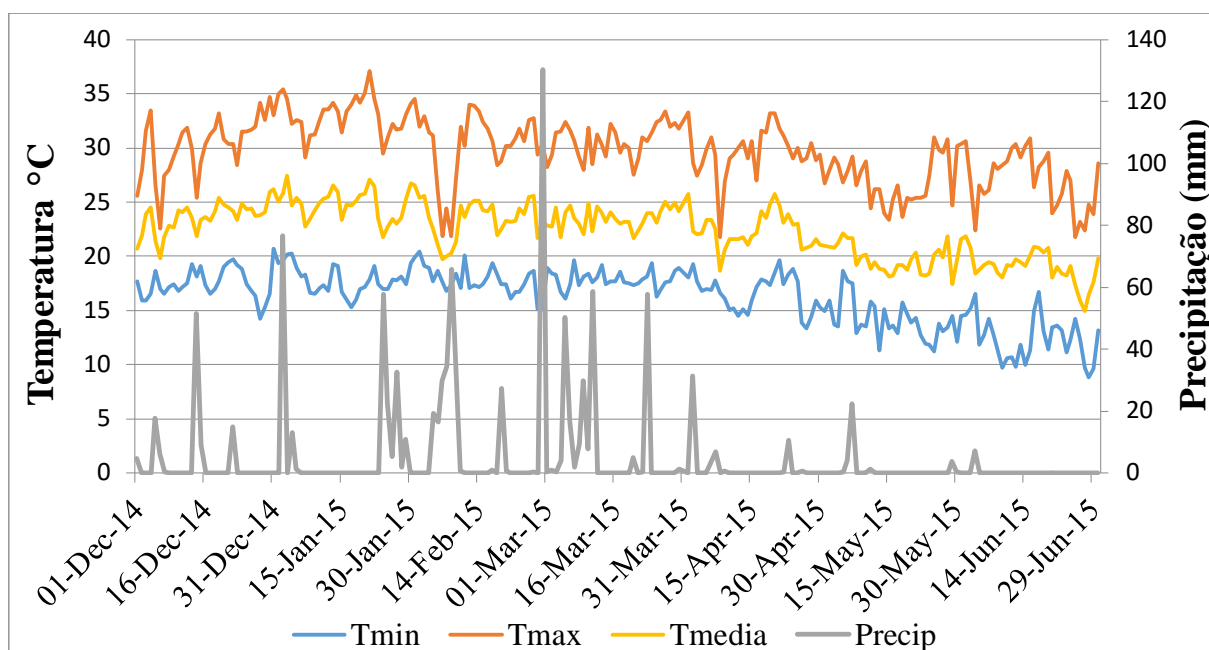


Figura 1 - Temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmedia), e distribuição da precipitação pluviométrica (Precip) durante o período experimental. Sete Lagoas – MG, safra 2014-2015.

Para a caracterização da marcha de absorção de micronutrientes, foram realizadas onze amostragens de plantas nas duas linhas centrais das parcelas destinadas a essa finalidade. A primeira coleta ocorreu no estágio V4, com o corte de quatro plantas por parcela. Nas demais coletas, foram obtidas duas plantas representativas nos seguintes estádios fenológicos: V5, V7, V9, V12, VT, R1, R2, R3, R5 e R6 (Tabela 4). As coletas foram realizadas quando a parcela apresentava mais de 50% das plantas no respectivo estágio fenológico, seguindo sempre o sentido do início para o final da parcela. A cada nova amostragem, saltou-se as

primeiras plantas remanescentes nas linhas da área útil, representando assim bordaduras internas na parcela. As plantas foram cortadas rente ao solo e, quando pertinente, fragmentadas em colmo, folha, palha + sabugo e grãos. As amostras das diferentes partes da planta foram secas em estufa a 65 °C até ficarem com peso constante. Na sequência, foram pesadas, trituradas e enviadas ao laboratório para as determinações dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn, segundo metodologias descritas em Silva (2009).

Tabela 4 - Estádios fenológicos da planta de milho.

Estádios Vegetativos	Estádios Reprodutivos
VE – emergência	
V1 - primeira folha expandida	R1 - polinização
V2 - segunda folha expandida	R2 - grão leitoso
V3 - terceira folha expandida	R3 - grão pastoso
V(n) - enésima folha expandida	R4 - grão farináceo
VT – pendoamento	R5 - grão farináceo-duro
	R6 - maturação fisiológica

Fonte: Ritchie et al. (2003).

O acúmulo de nutrientes nos diferentes estádios fenológicos foi calculado multiplicando-se o teor obtido nas análises em laboratório pela respectiva massa seca de cada compartimento da planta. Para obtenção da extração por hectare, o acúmulo por planta foi extrapolado para um estande de 70 mil plantas, população comumente utilizada em cultivos de verão visando alta produtividade.

A produtividade de grãos foi avaliada após a maturação fisiológica, colhendo-se a área útil das parcelas conduzidas com esse objetivo. A produtividade corrigida para 13% de umidade foi utilizada para calcular o acúmulo de micronutrientes nos grãos ao final do ciclo do milho, correspondendo, portanto, à quantidade exportada com a colheita.

Para cada estágio fenológico avaliado, as variáveis foram submetidas a análises de variância conjunta, a fim de se verificar a existência de interação entre híbridos e ambientes de investimento em adubação. Utilizou-se o teste de agrupamento de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade para a comparação de tratamentos quanto à produção de massa seca e acúmulo de micronutrientes nos diferentes estádios fenológicos, e também em relação à produtividade de grãos, com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Os dados de acúmulo de micronutrientes medidos nos diferentes compartimentos da planta e estádios fenológicos foram plotados de modo a representar graficamente a marcha de absorção ao longo do ciclo do milho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Acúmulo de massa seca e produtividade de grãos

Uma síntese das análises de variância para produção de massa seca, em diferentes estádios fenológicos e para produtividade de grãos, está apresentada no Anexo I - Tabela 1. Para massa seca, observou-se efeito significativo de ambientes de investimento em adubação nos estádios V5, R2, R5 e R6. Também houve efeito significativo de híbridos nesses mesmos estádios, além dos estádios V7, R1 e R3. Na média de ambientes e híbridos, o acúmulo de massa seca ao final do ciclo (estádio R6) foi de aproximadamente 25.627 kg ha⁻¹ (Tabela 5).

Nos EUA, Bender et al. (2013) avaliaram seis híbridos transgênicos em dois locais, obtendo produção média de 23.000 kg ha⁻¹ de massa seca na maturidade fisiológica (R6), com taxas máximas de acúmulo de massa entre V10 e V14 (432 kg ha⁻¹ dia⁻¹) e entre R2 e R4 (467 kg ha⁻¹ dia⁻¹). No presente estudo, as maiores taxas ocorreram entre V5 e V7 (337,6 kg ha⁻¹ dia⁻¹), V9 e V12 (402,0 kg ha⁻¹ dia⁻¹) e entre R1 e R2 (608,1 kg ha⁻¹ dia⁻¹), no ambiente de alto investimento. Para o ambiente de médio investimento, os maiores acúmulos de massa seca ocorreram nas mesmas épocas, porém em menor intensidade, com 316,7; 351,8; e 402,6 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente (Tabela 5 e Figura 2). Na maturação fisiológica, para ambos os ambientes, a partição da massa seca foi da ordem de 10, 28, 16 e 43% entre os compartimentos folhas, colmo, palha + sabugo e grãos, respectivamente (Figura 2).

Tabela 5 - Produção de massa seca de parte aérea (kg ha⁻¹) em diferentes estádios fenológicos do milho cultivado em ambientes com alto e médio investimento em adubação. Média de quatro híbridos. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Estádio fenológico	Massa seca		
	Investimento		Média
	Alto	Médio	
V4	247 a	224 a	236
V5	977 a	837 b	907
V7	2.665 a	2.420 a	2.543
V9	4.604 a	4.239 a	4.422
V12	8.222 a	7.405 a	7.813
VT	10.520 a	9.630 a	10.075
R1	11.902 a	11.553 a	11.727
R2	16.766 a	14.371 b	15.569
R3	19.265 a	17.683 a	18.474
R5	25.780 a	22.964 b	24.372
R6	27.095 a	24.159 b	25.627

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

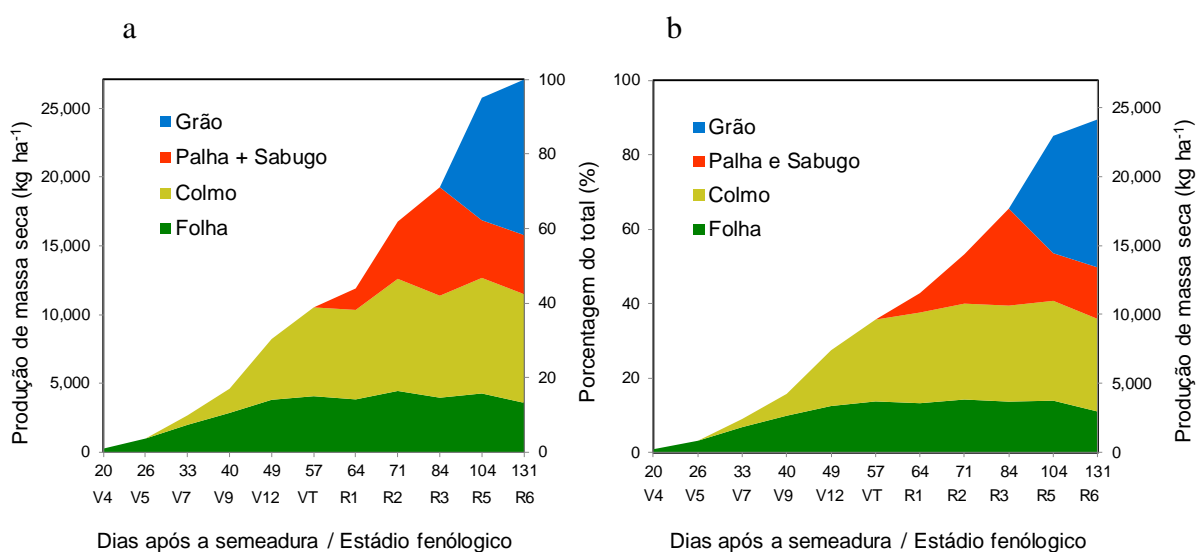


Figura 2 - Produção de massa seca de parte aérea ao longo do ciclo do milho cultivado em ambientes com alto (a) e médio (b) investimento em adubação. Média de quatro híbridos. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Mesmo quando não ocorreu diferença estatisticamente significativa em alguns estádios fenológicos, o ambiente de alto investimento em adubação apresentou maior acúmulo absoluto de massa seca (Tabela 5). A produção de massa seca total na maturação fisiológica foi de 27.095 e 24.159 kg ha⁻¹ em alto e médio investimento, respectivamente. Desse modo, a diferença entre os ambientes alcançou 10,8%, evidenciando considerável

resposta em virtude da melhoria da fertilidade do solo pelo maior investimento em adubação, o que deve ter impacto também nas quantidades extraídas de micronutrientes.

Nos dois ambientes, o acúmulo de massa seca ocorreu de forma mais lenta até o florescimento (estádio R1, 64 dias após a semeadura), alcançando um pouco menos da metade (45,9%) da produção total de massa seca de parte aérea da cultura. A partir da fase de polinização (R1), o acúmulo de massa seca ocorreu de forma mais intensa, de modo que nos 40 dias seguintes, até o estágio R5 (104 dias após a semeadura), a cultura atingiu 95% da produção total de massa seca observada nos dois ambientes. Esse resultado corrobora os encontrados em outros trabalhos. Carvalho et al. (2014) observaram que a taxa de acúmulo de massa seca por plantas de milho foi crescente até os 87 DAS, atingindo o máximo aos 103 DAS, com a variedade BR 106. Resultados semelhantes foram observados por Bassoi (1990) em um cultivo de milho irrigado, verificando acúmulo máximo de massa seca aos 105 dias após a emergência.

Os híbridos estudados no presente trabalho apresentaram significativa variação de produção de massa seca na média dos ambientes (Tabela 6), sendo a menor produção de 23.429 e a maior de 32.059 kg ha⁻¹. Houve diferença de crescimento entre os híbridos em alguns dos estádios fenológicos, destacando-se o híbrido DKB 310 com maior acúmulo de massa seca ao final do ciclo.

Tabela 6 - Massa seca total da parte aérea ao final do ciclo (kg ha⁻¹) e produtividade de grãos (kg ha⁻¹) pelo milho em função de híbridos e ambientes de investimento em adubação. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Híbridos	Massa seca total			Produtividade de grãos		
	Investimento		Média de híbridos	Investimento		Média de híbridos
	Alto	Médio		Alto	Médio	
AG 8088 PRO X	24.353	22.758	23.555 b	10.840	10.727	10.784 b
DKB 310 PRO2	34.148	29.971	32.059 a	13.993	12.446	13.219 a
DKB 390 PRO	24.048	22.811	23.429 b	10.577	11.009	10.793 b
P 30F53 HY	25.833	21.099	23.465 b	9.805	8.794	9.299 c
Média de ambientes	27.095 A	24.159 B		11.304 A	10.744 A	
Media Geral	25.627			11.024		
CV (%)	8,69			7,34		

Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Andrade et al. (1975a) encontraram diferenças entre cultivares em relação às quantidades de massa seca total e de nutrientes acumulados, mas sugeriram que estas

variações não se traduziriam, necessariamente, em aumento na produção de grãos. Mais recentemente, o ganho de produtividade de grãos na cultura do milho tem sido associado com o aumento da capacidade de produção de massa seca (LORENZ et al., 2010), sendo que esta relação implica em maiores demandas para a absorção e remobilização de nutrientes nos híbridos atuais (BENDER et al., 2013).

De modo geral, os resultados de produção de massa seca obtidos no presente estudo foram superiores aos relatados em trabalhos anteriores (ANDRADE et al., 1975a; VASCONCELLOS et al., 1983; HIROCE et al., 1989; DUARTE, 2003) que avaliaram a absorção de nutrientes pelo milho no Brasil e se aproximam dos reportados por Bender et al. (2013) ao estudarem híbridos transgênicos nos EUA. Assim, a tendência de maior capacidade de acumulação de massa seca mostra-se compatível com o que se observa atualmente em lavouras de alto potencial produtivo.

Embora os requerimentos em fertilidade do solo não possam ser previstos com base unicamente no potencial genético para a acumulação de massa seca (BENDER et al., 2013), é importante destacar que o potencial produtivo de grãos de uma cultivar normalmente tem reflexos nas taxas de extração de nutrientes, as quais servem de critérios acessórios para ajustes das quantidades a serem fornecidas nas adubações de manutenção, segundo as épocas mais adequadas para a cultura. Por exemplo, ainda na fase de emissão da quarta a sexta folhas (estádios V4 a V6), a planta de milho define seu potencial de produção, de modo que a falta de água e nutrientes nas quantidades demandadas nessa época podem provocar perda na produtividade (FANCELLI, 2010).

A produtividade média de grãos foi de 11.024 kg ha⁻¹, mas não variou entre os ambientes, havendo diferença estatística apenas entre os híbridos (Tabela 6). Apesar do crescimento similar entre os híbridos em alguns dos estádios fenológicos (Anexo I – Tabela 1), destaca-se o DKB 310 com maior acúmulo de massa seca ao final do ciclo e mais produtivo, o que, em princípio, poderia indicar uma maior exigência nutricional ou maior capacidade de resposta dessa cultivar aos investimentos em adubação.

4.2. Extração de micronutrientes

4.2.1 Cobre

Em relação à extração de cobre, foram observados efeitos significativos de híbridos e de ambientes de investimento em adubação, marcadamente a partir do estágio VT, não havendo, contudo, interação desses fatores (Anexo I – Tabela 2). A máxima extração de

cobre ao longo do ciclo pelos híbridos foi completada somente na maturação fisiológica, correspondendo a 98 e 73 g ha⁻¹ nos ambientes de alto e médio investimento em adubação, respectivamente (Tabela 7 e Figura 3). Em média, até o estágio de pendramento, atingiu-se 61,5% do acúmulo máximo, evidenciando que parte considerável da extração desse micronutriente ocorre mais tardiamente, durante a fase reprodutiva da cultura. As maiores taxas de extração ocorreram entre os estádios e R1-R2 (64 a 71 dias após a emergência), correspondendo a incrementos de 2,89 e 1,68 g ha⁻¹ dia⁻¹ durante esse período nos ambientes de alto e médio investimento, respectivamente. A maior extração verificada no ambiente de alto investimento provavelmente se deve ao nível mais elevado de adubação que vem sendo adotado ao longo do tempo e demais tratos culturais empregados (Tabela 2), o que intensifica o crescimento do milho. Assim, é de se esperar que a maior acumulação de massa seca tenha reflexo direto na extração dos nutrientes disponíveis naquele ambiente.

Tabela 7- Extração de micronutrientes (g ha⁻¹) em diferentes estádios fenológicos do milho cultivado em ambientes com alto e médio investimento em adubação. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Estádio fenológico	Cobre		Ferro		Manganês		Zinco	
	Investimento		Investimento		Investimento		Investimento	
	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio
V4	4 a	3 a	448 a	441 a	14 a	12 a	12 a	11 b
V5	12 a	10 a	446 a	344 b	44 a	36 b	41 a	33 b
V7	21 a	19 b	567 a	382 b	128 a	105 b	119 a	95 b
V9	38 a	35 a	840 a	733 a	237 a	195 b	155 a	103 b
V12	56 a	44 a	1.189 a	978 a	382 a	283 b	226 a	158 b
VT	58 a	47 b	1.212 a	988 a	427 a	299 b	262 a	190 b
R1	59 a	47 b	1.245 a	991 a	432 a	301 b	279 a	195 b
R2	80 a	58 b	1.529 a	1.208 b	627 a	404 b	387 a	259 b
R3	79 a	59 b	1.531 a	1.433 a	631 a	426 b	428 a	303 b
R5	95 a	70 b	2.222 a	1.855 a	764 a	496 b	484 a	393 b
R6	98 a	73 b	2.513 a	1.880 b	778 a	500 b	486 a	396 b

Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Esses resultados estão de acordo com os de Bender et al. (2013), os quais reportaram que no período que antecede o florescimento houve extração de apenas metade do total de Cu acumulado pelo milho. O ponto de máxima de extração de Cu determinado por Andrade et al. (1975b) situou-se entre 101 a 108 dias após a emergência, e por Borges et al. (2009) aos 102 dias após de emergência. A confirmação do padrão de extração de Cu se estendendo até o final do ciclo indica que, independente do híbrido utilizado e do ambiente de cultivo, é importante garantir condições para suprimento satisfatório desse micronutriente durante a fase de enchimento de grãos da cultura.

Há uma divisão relativamente uniforme da distribuição de Cu entre os órgãos da planta, sem grandes alterações ao longo do ciclo (Figura 3), sugerindo que, para altos rendimentos, deve haver disponibilidade desse nutriente para extração ao longo de praticamente todo o período de vida da planta. Reforçando essa ideia, pode-se observar que somente no último intervalo do ciclo, entre os estádios R5 e R6, é que claramente há redistribuição de Cu das partes vegetativas, sobretudo das folhas, para os grãos. Em média, a partição do cobre acumulado em R5 foi de 48, 22, 13 e 14% entre os componentes folha, colmo, palha + sabugo e grãos, passando em R6 (maturação fisiológica) para 36, 27, 14 e 26%, respectivamente.

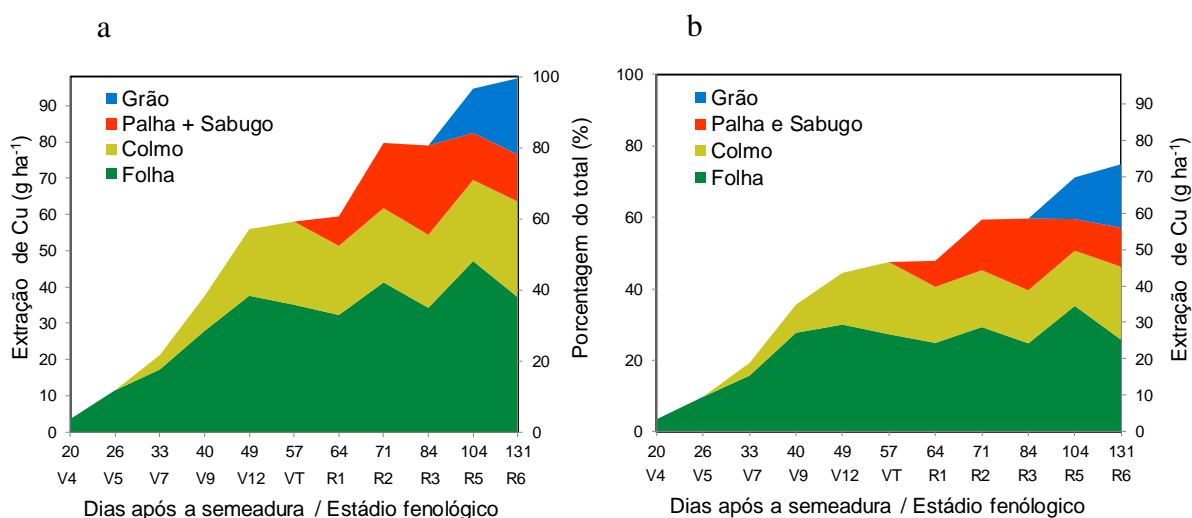


Figura 3- Extração de cobre ao longo do ciclo do milho cultivado em ambientes com alto (a) e médio (b) investimento em adubação. Média de quatro híbridos.

Os resultados apresentados na Tabela 8 permitem destacar que o híbrido DKB 310 apresentou maior capacidade de extração de Cu em relação aos demais e, ao final ciclo, o AG8088 acumulou quantidades inferiores aos demais. As variações de extração entre os híbridos tornaram-se nítidas a partir do estágio VT (pendoamento) (Anexo I – Tabela 2), sugerindo que as diferenças genotípicas em relação ao aproveitamento desse micronutriente se expressam mais tardiamente. O híbrido DKB 310 acumulou um total de 107,5 g ha⁻¹, uma diferença de 43% em relação à menor média obtida, o que é condizente com o seu elevado potencial de produção de massa seca e grãos (Tabela 6).

Tabela 8- Extração de Cu (g ha^{-1}) por híbridos transgênicos de milho em diferentes estádios fenológicos. Média de dois ambientes de cultivo. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Estádio fenológico	Híbrido			
	AG 8088	DKB310	DKB390	P30 F53
VT	41,0 b	59,5 a	47,9 b	60,6 a
R1	44,3 b	62,6 a	48,6 b	56,1 a
R2	51,9 b	82,4 a	63,5 b	77,8 a
R3	48,3 b	85,1 a	64,6 b	76,8 a
R5	58,1 c	105,8 a	78,9 b	85,9 b
R6	61,0 c	107,5 a	86,6 b	86,5 b

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4.2.2 Ferro

Para a extração de Fe, foi observado efeito significativo dos ambientes de investimento em adubação nos estádios V5, V7, R2, e R6, e efeito de híbridos em V5, R2 e R5 (Anexo I – Tabela 2). Houve interação entre esses fatores apenas no estádio R6. À semelhança do que se verificou para o Cu, a absorção de Fe perdurou até a maturidade fisiológica (estádio R6), completando 2.513 e 1.880 g ha^{-1} nos ambientes alto e médio investimento em adubação, respectivamente (Tabela 7, Figura 4).

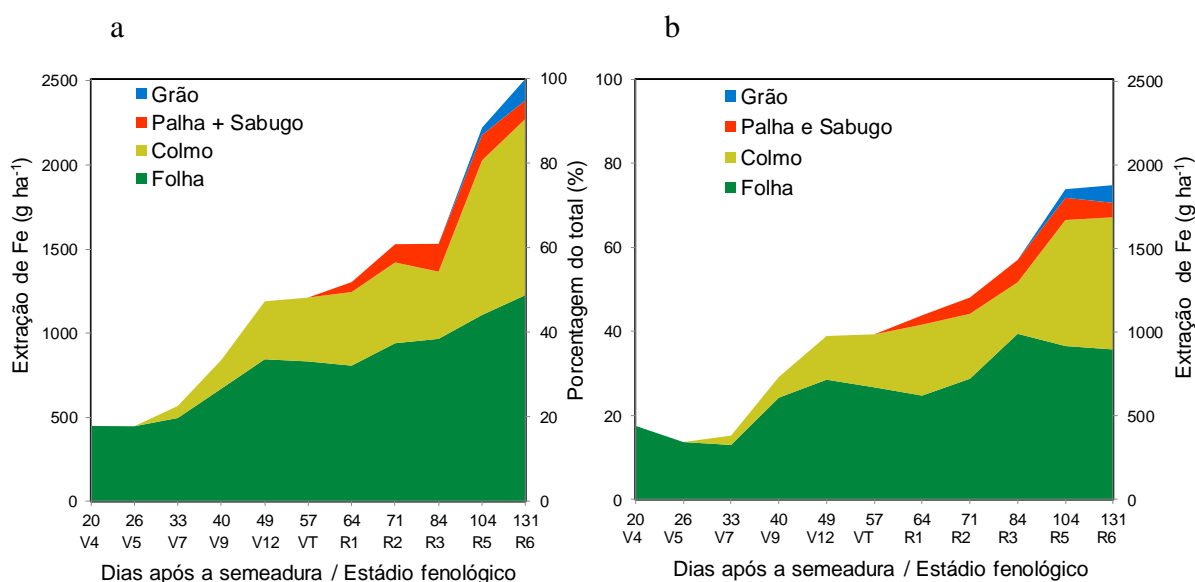


Figura 4- Extração de ferro ao longo do ciclo do milho cultivado em ambientes com alto (a) e médio (b) investimento em adubação. Média de quatro híbridos.

Os dados de extração total de Fe observados no presente trabalho se aproximam do valor de 1.900 g ha^{-1} relatado por Karlen et al. (1988), são superiores à média de 1.100 g ha^{-1}

encontrada por Bender et al. (2013) em trabalho com híbridos transgênicos nos EUA, mas encontram-se abaixo dos 3.296 g ha⁻¹ reportados por Duarte et al. (2003) como média de cultivares originadas de clima temperado e tropical avaliadas no Brasil. Ao que tudo indica, os padrões de extração de Fe pelo milho podem ser bastante variáveis, de acordo com os ambientes, as condições de solo, os híbridos utilizados e outras práticas de manejo estabelecidas na lavoura.

Para os dois ambientes de adubação, a extração de Fe foi acentuada a partir do estágio V7 (33 dias após a semeadura) até o estágio V12 (49 dias após a semeadura). Sob alto investimento em adubação, 48% da extração total ocorreu até o pendoamento (VT), com um pico de absorção de 38,7 g ha⁻¹ dia⁻¹ entre os estádios V9 e V12. No ambiente com médio investimento, 53% da extração ocorreu até o pendoamento, com pico de absorção de 38,9 g ha⁻¹ dia⁻¹ entre os estádios V7 e V9 (Tabela 7 e Figura 4). De forma geral, a extração do Fe aconteceu desde os primeiros estádios vegetativos, prolongando-se até o final do ciclo. Praticamente metade do Fe acumulado pelo milho adveio da extração nas fases reprodutiva e de maturação. Em cultivos nos EUA, Bender et al. (2013) detectaram que mais de dois terços da extração total de Fe aconteceu antes da floração, porém, a extração máxima se deu entre o pendoamento (VT) e o início de enchimento do grão (R1).

As tendências de acumulação de Fe na maturação fisiológica em diferentes partes da planta foram semelhantes em ambos os ambientes, com 48, 42, 5, e 5% distribuídos na folha, colmo, espiga + palha e grãos, respectivamente (Figura 4). Evidencia-se, assim, que as folhas e o colmo constituem os principais locais de deposição do Fe absorvido pelo milho, enquanto os grãos não representam forte dreno desse micronutriente. É importante destacar ainda que a calagem superficial (2 t ha⁻¹), realizada antes do início do experimento no ambiente de alto investimento, não prejudicou a aquisição de Fe pelo milho. Esse fato está coerente com a ausência de alterações expressivas nos dados de pH na análise de solo, apesar de os teores disponíveis de Fe (Tabela 3) serem interpretados como baixos no ambiente de alto investimento e médios no ambiente de médio investimento (Alvarez V. et al., 1999) nas duas profundidades amostradas.

Verificaram-se poucas diferenças entre os híbridos estudados quanto à extração de Fe na fase reprodutiva (Tabela 9), sendo que o DKB 310 superou os demais na extração de Fe apenas nos estádios R2 e R5. Esse comportamento similar entre as cultivares confirma o relato de Brown e Bell (1969), de que híbridos cultivados em solos com teor adequado de Fe tendem a não expressar diferenças quanto à extração desse micronutriente.

Tabela 9- Extração de Fe (g ha^{-1}) por híbridos transgênicos de milho em diferentes estádios fenológicos. Média de dois ambientes de cultivo. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Estádio fenológico	Híbrido			
	AG 8088	DKB310	DKB390	P30 F53
VT	1.080 a	1.169 a	1.200 a	951 a
R1	1.247 a	1.091 a	1.220 a	1.252 a
R2	1.228 b	1.580 a	1.331 b	1.335 b
R3	1.394 a	1.578 a	1.262 a	1.696 a
R5	1888 b	2526 a	1.736 b	2.127 b
R6	2.214 a	2.377 a	1.964 a	2.377 a

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4.2.3 Manganês

Foram observados efeitos significativos de ambientes a partir do estágio V5 (26 dias após a emergência) até R6 (maturação fisiológica) e de híbridos nos estádios V5, R2, R5 e R6 sobre a absorção de manganês (Anexo I – Tabela 2). Não houve interação entre esses fatores, contrariando a premissa sugerida por Gorsline et al. (1964), de que a acumulação de Mn é geneticamente controlada e a interação entre genótipos e ambientes constitui fator importante na absorção desse nutriente.

A extração total de Mn na maturação fisiológica foi de 778 e 500 g ha^{-1} nos ambientes de alto e médio investimento, respectivamente (Tabela 7). Essas quantidades estão abaixo dos 900 g ha^{-1} quantificados por Karlen et al. (1988), porém, próximas dos valores obtidos por Duarte et al. (2003) e Andrade et al. (1975b), de 638 g ha^{-1} e 496 a 720 g ha^{-1} , respectivamente. Depois do Fe, o Mn foi o segundo micronutriente com maior extração pelas plantas de milho, sendo acumulado em maior quantidade sob alto investimento tecnológico, o que deve estar associado ao maior potencial de produção de massa seca pelos híbridos (Tabela 6) e consequente incremento da demanda nutricional nessa condição.

Com exceção do estágio V4 (20 dias após a semeadura), em todos os demais estádios fenológicos avaliados observou-se maior acúmulo de Mn no ambiente de alto investimento em adubação (Anexo I – Tabela 2, Figura 5). Essa constatação leva a crer que o potencial produtivo em cada situação acaba por ser fortemente determinante na demanda por Mn, pois a extração total foi 36% maior sob alto investimento, mesmo com o teor disponível na análise do solo ($9,2 \text{ mg dm}^{-3}$) estando próximo do nível crítico de 8 mg dm^{-3} (ALVAREZ V. et al., 1999) e abaixo do observado no ambiente de médio investimento ($13,2 \text{ mg dm}^{-3}$).

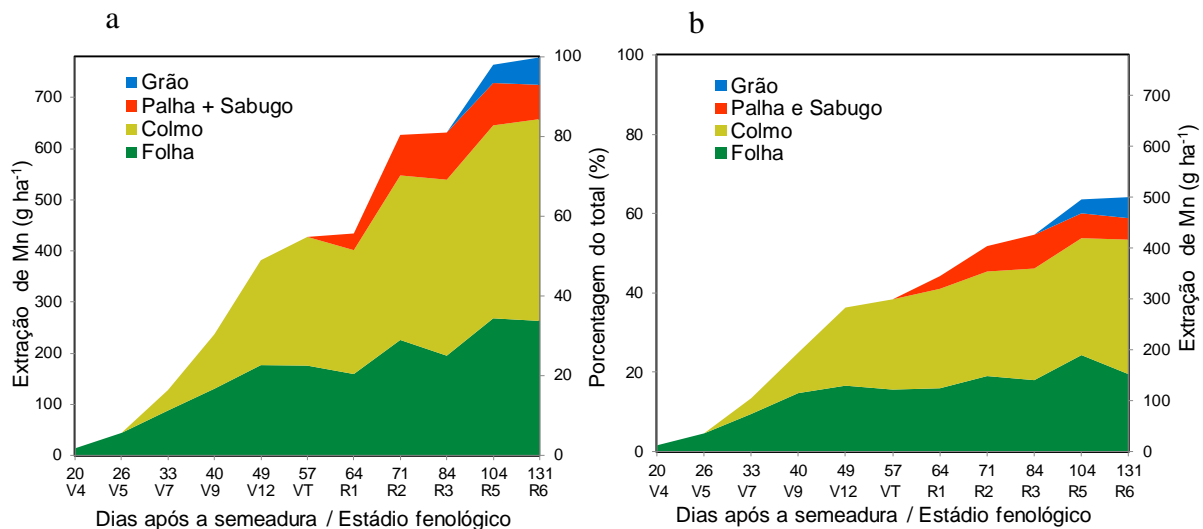


Figura 5- Extração de manganês ao longo do ciclo do milho cultivado em ambientes com alto (a) e médio (b) investimento em adubação. Média de quatro híbridos.

Em média, até o estágio R2 (71 dias após a emergência) atingiu-se 81% do acúmulo máximo de Mn pelo milho. Observou-se um pico de absorção entre os estádios e R1-R2 (64 a 71 dias após a emergência), com incrementos de 27,5 e 8,43 g ha⁻¹ dia⁻¹ nos ambientes de alto e médio investimento, respectivamente (Tabela 7). Andrade et al. (1975b) e Borges et al. (2009) detectaram acumulação máxima entre 82 a 94 dias e 85 dias após a emergência, respectivamente. Bender et al. (2013) identificaram um pico de absorção mais tardio, entre R2 e R4.

O padrão da extração de Mn no presente estudo se assemelha ao resultado de Karlen et al. (1988), que contabilizaram mais de 70% da extração total de Mn até o estágio R1. Levando em conta a intensa extração ocorrida durante a fase vegetativa no ambiente de alto investimento (Figura 5), onde verificou-se maior absorção, pode-se inferir que o fornecimento de Mn nos estádios mais iniciais da cultura constitui uma estratégia para aumentar a capacidade de aproveitamento pelas plantas. Não obstante, a demanda pelo micronutriente persiste até a maturação dos grãos.

Na maturação fisiológica, a proporção média de acúmulo de Mn nas diferentes partes das plantas foi de 32, 51, 9 e 8% nas folhas, colmo, espiga + palha, e grãos, respectivamente, destacando-se conteúdos mais elevados nas partes vegetativas, notadamente no colmo. Segundo Duarte et al. (2003), o colmo representa o principal compartimento de acúmulo de Mn na planta madura, atuando como estrutura de armazenamento desse micronutriente.

Dentre os híbridos, o DKB 310 destacou-se no acúmulo de Mn, com conteúdo significativamente maior que o quantificado nos demais híbridos, sobretudo ao final do ciclo nos estádios R5 e R6 (Tabela 10). Analogamente ao que foi constatado para extração de Cu e

Fe, ao expressar potencial mais elevado de produção de massa seca e grãos, o híbrido DKB 310 exibiu também um maior requerimento de Mn.

Tabela 10- Extração de Mn (g ha^{-1}) por híbridos transgênicos de milho em diferentes estádios fenológicos. Média de dois ambientes de cultivo. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Estádio fenológico	Híbrido			
	AG 8088	DKB310	DKB390	P30 F53
VT	302 a	406 a	350 a	394 a
R1	359 a	425 a	380 a	394 a
R2	438 b	609 a	484 b	530 b
R3	460 a	578 a	546 a	532 a
R5	541 b	810 a	631 b	538 b
R6	546 b	790 a	630 b	531 b

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4.2.4 Zinco

A extração de zinco foi influenciada pelos tratamentos, com efeitos significativos de ambientes em todos os estádios fenológicos avaliados e para híbridos a partir do estágio VT até R6, além dos estádios V4, V5. Porém, não se detectou interação entre esses fatores (Anexo I – Tabela 2). Na média dos híbridos, houve incremento contínuo na extração de Zn ao longo do ciclo até praticamente estabilizar em R5, chegando na maturação fisiológica a 486 e 396 g ha^{-1} nos ambientes de alto e médio investimento em adubação, respectivamente. O zinco foi o terceiro micronutriente acumulado em maior quantidade nas plantas do milho e de forma mais acentuada no ambiente de alto investimento (Tabela 7 e Figura 6).

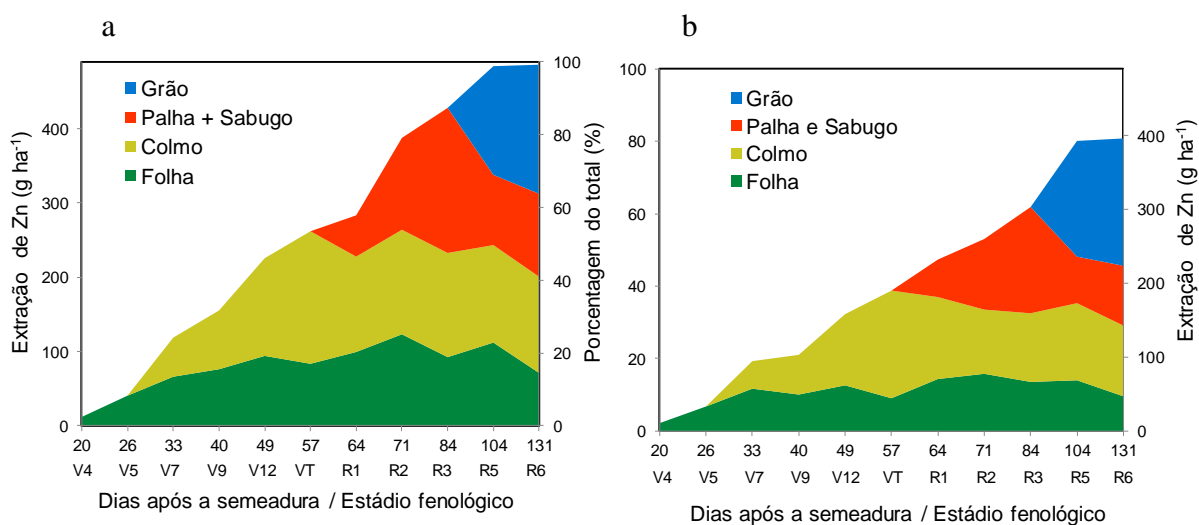


Figura 6- Extração de zinco ao longo do ciclo do milho cultivado em ambientes com alto (a) e médio (b) investimento em adubação. Média de quatro híbridos.

Nos estádios iniciais do milho, a extração foi lenta, acumulando apenas pequenas quantidades de Zn nos dois ambientes. A máxima taxa de extração se deu entre os estádios V5 e V7, correspondendo a 15,6 e 12,3 g ha⁻¹ dia⁻¹ de Zn nos ambientes de alto e médio investimento, respectivamente. O estudo de Bender et al. (2013) também havia evidenciado lenta extração nos estádios vegetativos iniciais, sendo o máximo acúmulo verificado entre os estádios VT e R1. Vasconcellos et al. (1983), ao avaliarem a cultivar BR 105 com e sem irrigação, obtiveram máximo acúmulo de Zn aos 56 e 60 dias após da emergência, respectivamente. Andrade et al. (1975b), ao estudarem cinco cultivares de milho, verificaram máximo acúmulo entre 87 e 108 DAS.

Em média, até o pendoamento (VT) ocorreu 51% da extração total de Zn pelos híbridos (Tabela 7), evidenciando que praticamente a metade da acumulação desse micronutriente se dá após o florescimento. Esse fato chama atenção para a necessidade de haver condições de disponibilidade de Zn e de umidade do solo adequadas para a sua aquisição pelas plantas de milho em épocas mais tardias, ou seja, nos estádios reprodutivos da cultura. Embora em menor magnitude, esse resultado corrobora o padrão encontrado por Bender et al. (2013), em que mais de 70% do Zn foi absorvido durante o período de crescimento vegetativo tardio e ao longo da fase reprodutiva. Portanto, esse comportamento reforça as chances de resposta a aplicações foliares de Zn entre o final da fase vegetativa e os estádios reprodutivos iniciais, em razão da demanda relativamente alta desse micronutriente para a formação dos grãos (Figura 6).

Entre os estádios R5 e R6 ainda houve redistribuição do Zn presente nas folhas e colmos para os compartimentos palha + sabugo, e grãos. Em média, em R5 a partição do conteúdo era de 20, 27, 18 e 35%, chegando à maturação fisiológica (R6) com 13, 24, 21 e 42% do Zn alocado entre os componentes folha, colmo, palha + sabugo e grãos, respectivamente (Figura 6).

Cabe ressaltar que o ambiente de alto investimento foi capaz de manter proporções mais elevadas de Zn em outros compartimentos da planta relativamente aos grãos, os quais constituem o dreno preferencial do micronutriente na fase de maturação. Sob alto investimento, a partição ficou em 14, 25, 23 e 38%, enquanto em médio investimento essas proporções foram de 12, 23, 20 e 45% de Zn contido na folha, colmo, espiga + palha, e grão, respectivamente (Figura 6). Portanto, sob maior investimento em adubação a necessidade de redistribuição interna de Zn foi menor, permitindo suprir o dreno dos grãos com menor depleção das reservas nos outros compartimentos da planta. De todo modo, o direcionamento de Zn para os grãos nos híbridos utilizados no presente estudo ocorreu em magnitude

notadamente menor do que os percentuais de 62% e 56% relatados por Bender et al. (2013) e Karlen et al. (1988), respectivamente. Segundo alguns autores (KARLEN et al., 1988; HECKMAN et al., 2003), a redistribuição do Zn acumulado pode variar de acordo com as práticas de manejo agrônomo, a produtividade e a concentração de nutrientes nos grãos de milho.

Os híbridos apresentaram diferenças significativas de extração de Zn na maioria dos estádios avaliados, exceto em V7, V9 e V12 (Anexo I, Tabela 2). Entre os estádios VT e R3, o híbrido P 30F53 apresentou acúmulo estatisticamente igual ao do DKB 310, mas este diferenciou-se com maiores valores medidos nos dois estádios finais da cultura (Tabela 11). Novamente, a demanda nutricional diferenciada deste genótipo parece relacionada à sua maior capacidade de crescimento e produção de grãos (Tabela 7). De outra forma, resta também a hipótese de que o melhor desempenho produtivo do DKB 310 pode estar associado à sua eficiência superior na aquisição de micronutrientes.

Tabela 11- Extração de Zn (g ha^{-1}) por híbridos transgênicos de milho em diferentes estádios fenológicos. Média de dois ambientes de cultivo. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Estádio fenológico	Híbrido			
	AG 8088	DKB310	DKB390	P30 F53
VT	195 b	248 a	211 b	250 a
R1	235 b	272 a	213 b	311 a
R2	278 b	378 a	280 b	360 a
R3	305 b	427 a	318 b	413 a
R5	371 c	552 a	407 c	453 b
R6	423 b	551 a	407 b	384 b

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4.3 Balanço entre extração e exportação de micronutrientes

Quando cultivado no ambiente de alto investimento em adubação, o milho apresentou maior extração de micronutrientes em relação ao ambiente de médio investimento (Tabela 12). Essa diferença pode ser explicada por duas razões principais: 1) a condição de maior aporte de macro e micronutrientes ao longo do histórico de cultivo (PADILHA et al., 2015) e durante o ciclo do milho (Tabela 2) no ambiente de alto investimento; e 2) o potencial mais elevado de produção de massa seca e de grãos neste ambiente, induzindo um incremento de demanda e conseqüente reflexo direto na absorção dos micronutrientes.

É importante destacar que, em princípio, as tendências de extração de micronutrientes não acompanharam as diferenças de disponibilidade no solo no início do cultivo do milho,

quando o ambiente de alto investimento apresentava teores mais baixos de Cu, Fe e Mn (Tabela 3), inclusive com valores de Cu e Fe enquadrados abaixo dos níveis críticos indicados por Alvarez V. et al. (1999). Embora não se tenha verificado alterações substanciais no pH em água (Tabela 3), a aplicação de calcário em superfície no ambiente de alto investimento (Tabela 2) pode ter ocasionado a presença de carbonatos nas amostras, o que interferiria na ação do extrator Mehlich 1 utilizado na análise do solo, levando a uma subestimativa da disponibilidade dos micronutrientes catiônicos.

De qualquer modo, os dados de absorção pelo milho (Tabela 12) comprovam não ter havido maior restrição de suprimento no ambiente de alto investimento, sugerindo que o manejo progressivo e recente de micronutrientes, envolvendo fornecimento via solo, tratamento de sementes e aplicações foliares, foi efetivo no atendimento às demandas para maior potencial produtivo. Ao final do ciclo, as plantas de milho acumularam os micronutrientes na seguinte ordem decrescente Fe>Mn>Zn>Cu. Estes resultados corroboram os relatos de Bender et al. (2013) e Ciampitti et al. (2013) em trabalhos desenvolvidos nos EUA.

Tabela 12 - Extração (g ha^{-1}) e exportação de micronutrientes (g ha^{-1}), e proporção exportada (%) pelo milho cultivado em ambientes com alto e médio investimento em adubação. Média de quatro híbridos. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Nutriente	Extração		Exportação		Proporção exportada	
	Investimento		Investimento		Investimento	
	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio
Cu	98 a	73 b	21,0 a	17,4 a	21,4	23,8
Fe	2.513 a	1.880 b	127,6 a	105,6 b	5,1	5,6
Mn	778 a	500 b	53,6 a	41,3 b	6,9	8,3
Zn	486 a	396 b	186,1 a	177,7 b	38,3	44,8

Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Independente do ambiente, a magnitude de exportação teve a seguinte ordem decrescente Zn>Fe>Mn>Cu, mesma sequência indicada em trabalhos anteriores (MALAVOLTA et al.,1997; PAULETTI, 2004; BENDER et al., 2013; CIAMPITTI et al., 2013). À exceção do Cu, a exportação dos micronutrientes estudados foi significativamente mais elevada no ambiente de alto investimento em adubação (Tabela 12), embora a produtividade média de grãos não tenha diferido estatisticamente entre os ambientes (Tabela 6).

Assim sendo, admite-se que as condições de maior oferta de nutrientes, juntamente com o crescimento mais intenso observado sob alto investimento em adubação, conduziram a maiores taxas de extração, as quais, contudo, não resultaram em aumento de produtividade. Por outro lado, tendo em vista as produtividades semelhantes nos dois ambientes, constata-se a tendência de enriquecimento dos grãos quanto à concentração de Cu, Fe, Mn e Zn quando o cultivo se deu na condição de suprimento mais abundante de nutrientes. Tal tendência pode ser visualizada na Tabela 13, onde são apresentadas as quantidades exportadas por tonelada de grãos produzida (g t^{-1}), cujos valores também equivalem às concentrações (mg kg^{-1}) dos micronutrientes nos grãos.

Tabela 13- Extração e exportação de micronutrientes por tonelada de grãos produzida (g t^{-1}) pelo milho cultivado em ambientes com alto e médio investimento em adubação. Média de quatro híbridos. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Nutriente	Extração por tonelada de grãos			Exportação por tonelada de grãos		
			<u>Média</u>			<u>Média</u>
	Investimento			Investimento		
	Alto	Médio		Alto	Médio	
Cu	8,7	6,8	7,8	1,9	1,6	1,7
Fe	222,3	175,0	198,6	11,3	9,8	10,6
Mn	68,8	46,5	57,6	4,7	3,8	4,3
Zn	43,0	36,9	39,9	16,5	16,5	16,5

O Zn foi o micronutriente mobilizado em maior proporção para os grãos. Do total extraído, 38 e 45% foi direcionado aos grãos nos ambientes de alto e médio investimento, respectivamente (Tabela 12). Esses percentuais são menores que o valor médio de 62% observado por Bender et al. (2013) ao estudarem seis híbridos transgênicos em dois locais dos EUA, com produtividade ao redor de 12 t ha^{-1} .

Apesar de Fe e Mn serem os micronutrientes extraídos em maiores quantidades pelas plantas de milho (Tabela 12), as proporções alocadas nos grãos foram relativamente baixas, representando em média 5,4 e 7,6% do total extraído, respectivamente. Bender et al. (2013) observaram que 18% do Fe e 13% do Mn foram exportados com a colheita dos grãos. No caso do Cu, embora as quantidades extraídas tenham sido as menores entre os micronutrientes estudados, o acúmulo nos grãos representou cerca de 21 e 24% do total absorvido nos ambientes de alto e médio investimento, respectivamente.

Os dados de teores nos grãos e exportação dos micronutrientes por cada híbrido são apresentados no Anexo II, Tabelas 1, 2, 3 e 4. Em alguns casos houve diferenças estatisticamente significativas entre os híbridos, mas não foi possível associar claramente os padrões de comportamento daquelas variáveis às respostas produtivas das cultivares avaliadas. Quando houve diferença, dependendo do micronutriente, um determinado híbrido apresentou teor mais elevado nos grãos, coincidindo ou não com uma maior exportação. Para o Fe, se observa que os quatro híbridos exportaram quantidades semelhantes. Para Cu, o DKB 390 exportou maiores quantidades. No caso do Mn, destacaram-se os híbridos DKB 310 e DKB 390. Por fim, para o Zn, a exportação pelo DKB 310 foi superior à dos demais híbridos.

Na média dos ambientes, os teores observados nos grãos dos diferentes híbridos variaram de 1,5 a 2,5; 8,7 a 13,3; 3,9 a 4,6 e 16,5 a 18,5 mg kg⁻¹ para Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente (Anexo II – Tabelas 1, 2, 3 e 4). Esses valores encontram-se de acordo com as respectivas faixas de ocorrência relatadas na literatura (HECKMAN et al., 2003; MARTINEZ et al., 2015).

Em média, para se produzir uma tonelada de grãos de milho no presente estudo foram necessários cerca de 8, 199, 58, e 40 g de Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente (Tabela 13). Estes indicadores de extração encontram-se próximos aos valores relatados recentemente por Ciampitti et al. (2013), os quais, na média de dois híbridos e dois locais nos EUA, com produtividade de 10,0 t ha⁻¹, observaram exigências de 8, 194, 50 e 55 g t⁻¹ para Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente.

A colheita de uma tonelada de grãos representou, em média, exportações de 1,7; 10,6; 4,3; e 16,5 g de Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, nas condições experimentais de Sete Lagoas – MG (Tabela 13). Essas taxas de exportação mostraram-se inferiores às encontradas por Bender et al. (2013), que, na média de seis híbridos e dois locais dos EUA, com produtividade ao redor de 12,0 t ha⁻¹, quantificaram 3,4; 20,7; 6,0; e 25,7 g t⁻¹ para Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. Para essa mesma sequência de micronutrientes, Ciampitti et al. (2013) também observaram taxas mais elevadas, de 2,6; 32,3; 7,0 e 28,6 g t⁻¹. No Brasil, Pauletti (2004) relatou exportação de 1,2; 12,3; 6,5; e 29,0 g t⁻¹, enquanto Malavolta et al. (1997), para produtividade de 9,0 t ha⁻¹, apresentaram valores de 2,2; 11,1; 5,3; e 18,8 g t⁻¹ para Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente.

Confrontando os resultados ora obtidos com informações da literatura, percebe-se que os indicadores de taxas extração e exportação de micronutrientes pelo milho são bastante variáveis conforme as condições experimentais, as cultivares avaliadas e as práticas de manejo aplicadas à cultura. Vale notar, entretanto, o fato de os valores mensurados no

presente estudo tenderem a ser menores em relação aos de outros trabalhos com níveis de produtividade similares. Isso indicaria que cultivares atualmente utilizadas pelos agricultores no Brasil apresentam boa eficiência de conversão desses micronutrientes em biomassa e grãos, fazendo uso mais eficiente dos fertilizantes aplicados às lavouras de milho.

As diferenças de extração e exportação de micronutrientes pelos híbridos estudados, em relação aos indicadores tradicionais da literatura, reforçam a necessidade e conveniência da constante atualização desses dados, preferencialmente particularizando-os para as diferentes regiões de cultivo do milho no Brasil. A confirmação dos requerimentos nutricionais de híbridos modernos permite aferir os programas de adubação adotados pelos produtores, com o objetivo subsidiar a adoção de práticas de manejo que mantenham condições adequadas de fertilidade do solo e equilíbrio nutricional durante o ciclo da cultura. Essa abordagem deverá ganhar relevância à medida que se busquem melhores resultados nas lavouras, sobretudo em sistemas intensivos de produção.

5. CONCLUSÕES

O nível de investimento em adubação e a capacidade de produção de massa seca e grãos dos híbridos condicionam diferenças na extração de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho. A extração de micronutrientes é maior quando um híbrido com potencial mais elevado de produção de biomassa é cultivado em ambiente com maior oferta de nutrientes.

Na média dos híbridos estudados, o ambiente de alto investimento em adubação proporcionou maiores extração e exportação de micronutrientes, sem, entretanto, influenciar a produtividade de grãos.

A absorção desses micronutrientes persiste ao longo do ciclo do milho, inclusive durante os estádios finais da fase reprodutiva, evidenciando demanda tardia pela cultura. Em média, após o pendoamento ainda ocorre cerca de 39, 50, 42, e 49% da absorção total de Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente.

Em média, as taxas de extração de Cu, Fe, Mn e Zn são, respectivamente, da ordem de 8, 199, 58 e 40 g por tonelada de grãos produzida pelos híbridos. As frações acumuladas nos grãos correspondem a 23, 5, 8, 42% do total absorvido, equivalendo à exportação de cerca de 2, 11, 4 e 17 g t⁻¹ de grãos para Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente.

Em geral os híbridos transgênicos avaliados apresentaram níveis de extração e exportação de micronutrientes semelhantes ou inferiores aos reportados na literatura.

6. BIBLIOGRAFIA

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes, In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de ciência do solo. 2007.p. 645-736.

ABREU, C. A. de; LOPES, A. S.; ANDRADE, D. de S. Identificação de deficiências de micronutrientes em cinco solos de várzeas da região de cerrados de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 8, p. 833-841, 1987.

ALVAREZ V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314 – 315.

ANDRADE, A. G.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays L.*). I. Acumulação de macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 32, p. 115-149, 1975a.

ANDRADE, A.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G. D.; SARRUGE, J. R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays L.*) II. Acumulação de micronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 32, p. 151 – 171, 1975b.

BASSOI, L. H. **Lixiviação e acumulação de macronutrientes pelo milho (*Zea mays L.*) com e sem irrigação suplementar**. 1990. 102 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Universidade Estadual Paulista.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 677-683, 2004.

BENDER, R.R.; HAEGELE, J.W.; RUFFO, M.L.; BELOW, F.E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, v.105, p.161-170, 2013.

BENICIO, R.M.; HANAUEUR R. Avaliação da produtividade de híbridos de milho convencional e transgênicos (bt) na região de Ituiutaba, MG. In; **Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 28, 2010. Goiânia resumos Goiânia UFG, 2010. p. 255

BISSANI, C. A. ; BOHNEN, H. . Micronutrientes. In: C.A. BISSANI; C. GIANELLO; M.J. Tedesco; F.A.O. Camargo. (Org.). **Fertilidade dos Solos e Manejo da Adubação de Culturas**. 1 ed. Porto Alegre, 2004, v. 1, p. 221-237.

BORGES, I. D.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, J. L. A. R. Micronutrients accumulation at diferente maize development stages. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p.1018-1025, 2009.

BORGES, I.D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho**. 2006. 172 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras.

BRITTO, D.P.P.S.; CASTRO, A.F.; MENDES, W.; JACCOUD, A.; RAMOS, D. P.; COSTA, F. A. Estudos das reações a micronutrientes em Latossolo Vermelho- Oscuro sob vegetação do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.6 p.17-22, 1971. (Serie Agronomia)

BROWN, J.C.; BELL, W. D. Iron uptake dependent upon genotypes of corn. **Soil Science Society of America Proceedings**. v.33, p. 99-101, 1969.

BULL, L. T. Nutrição Mineral do Milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-146.

CARVALHO, L. B.; BORGES, S.; BIANCO, M. S. Estudo comparativo do acúmulo de massa seca e macronutrientes por plantas de *Zea mays* e *Ipomea hederifolia*. **Planta daninha**, Viçosa, v.32, n.2, p.99-107, 2014.

CASTOLDI, R.; CHARLO H. C. O.; VARGAS P. F.; BRAZ, L. T. Crescimento, acúmulo de nutrientes e produtividade da couve-flor. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 4, p. 438-446, 2009.

CIAMPITTI, I. A.; VYN T. J. Maize Nutrient Accumulation and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Rate: II. Calcium, Magnesium, and Micronutrients. **Agronomy Journal**, v. 105, p. 1645-1657, 2013.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. WOBETO, C. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G.E. Nutrição e adubação: seja doutor do seu milho. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, n.2, p.1-9, 1995.

COELHO, A. M.; RESENDE, A. V. **Exigências nutricionais e adubação do milho safrinha**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2008. 10 p. (Circular Técnica 111).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 3 - Safra 2015/16, n 5 - Quinto levantamento, fevereiro 2016.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV, 2006. p. 327-354.

DUARTE, A.P.; KIEHL, J.C.; CAMARGO, M.A.F.; RECO, P. C. Acúmulo de matéria seca e nutriente em cultivares de milho originaria de clima tropical e introduzido de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.1-20, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Contribuição da Embrapa sobre a introdução de eventos de milho geneticamente modificados para tolerância a herbicidas e para resistência a insetos listados na chamada 01/2007, da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança**. Disponível em <http://ctnbio.mcti.gov.br/>. Acesso em: Marco 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

EPSTEIN, E.; A. J. BLOOM. **Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives**, 2nd ed. Sunderland, MA. 2005. Sinauer Associates.

FANCELLI, A. L. Milho. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Vol. 3. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. p 39-93.

FARNELLI, R. e JUNIOR, W.R.C. Resposta de cultivares de milho transgênicos e convencional a densidade populacionais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.3, p.336-346, 2014.

FERREIRA, C. F. **Diagnose nutricional de diferentes cultivares de milho (*Zea mays* L.) de diferentes níveis tecnológicos**. 2009. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; FIGUEIREDO, A. G. Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia-preta e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 173-179, 2009.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS: CNPq, 1991, p. 734.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 28 p. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

GALLO, J. R.; IGUE, T.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; MIRANDA, L. E. C. Influência do uso contínuo de fertilizantes na nutrição mineral do milho híbrido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO 15., 1975, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p. 245-254.

GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho Escuro argiloso sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.18, p. 229- 233, 1994.

GALRÃO, E. Z. Respostas das culturas aos micronutrientes boro e zinco. In: BORKET, C. M.; LANTMANN, A. F., eds. In: SIMPÓSIO SOBRE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, EMBRAPA/IAPAR, **Anais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 205-237.

GALRÃO, E.; MESQUITA FILHO, M. V. Efeito de micronutrientes na produção e composição química do arroz (*Oryza sativa* L.) e do milho (*Zea mays* L.) em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5 p.72-85, 1981.

GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e de cobalto na produção e composição química do arroz, milho e soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p. 111-116, 1984.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes e cobalto no rendimento da soja em solo do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, V.15, p.117-120, 1991.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.185-226.

GORSLINE, G. W.; THOMAS, W. I.; BAKER, D. E. Inheritance of P, K, Mg, Cu, B, Zn, Mn, Al, Fe concentration by corn (*Zea mays* L.) leaves and grain. **Crop Science**, Madison, v. 4, p. 207-210, 1964.

HECKMAN J. R.; SIMS, J. T.; BEEGLE, D. B.; COALE, F. J.; HERBERT, S. J.; BRUULSEMA, T. W.; BAMKA, W. J. Nutrient Removal by Corn Grain Harvest. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 587-591, 2003.

HIROCE, R.; FURLANI, A. M. C.; LIMA, M. **Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho**. Campinas: Instituto agrônomo, 1989. 24 p. (Boletim científico, 17).

KARLEN, D. L.; FLANNERY, R. L.; SADLER, E. J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 232 - 242, 1988.

KLUTHCOUSKI, J. **Efeito de manejo em alguns atributos de um latossolo roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja e feijão, após oito anos de plantio direto**. 1998. 179 p. (Tese – Doutorado em Agronomia) - Piracicaba: ESALQ/USP.

LANA, R.M.Q.; FARIA, M.V.; LANA, A.M.Q.; BONOTTO, I.; TREVISAN, L.R.; PEREIRA, D.M. Aplicação de fertilizantes com inibidor de nitrificação e micronutrientes, na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.7, n.2, p. 141-151, 2008.

LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo**. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1983, p. 162.

LOPES, A.S.; SOUZA, E.C.A. Filosofias e eficiência de aplicação. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal CNPq; Fapesp; Potafos, 2001. p.255-282

LORENZ, A.J., T.J. GUSTAFSON, J.G. COORS, AND N. DE LEON. 2010. Breeding maize for a bioeconomy: A literature survey examining harvest index and stover yield and their relationship to grain yield. **Crop Science**. v. 50, p.1–12, 2009.

MACHADO, C. T. T.; GUERRA, J. G. M. ALMEIDA, D. L.; MACHADO, A. T. Variabilidade entre genótipos de milho para eficiência e uso de fósforo. **Bragantia**, vol. 58, nº1, 1999.

MALAVOLTA, E. Micronutrientes na adubação. [S.I.]: Nutriplant, 1986. 70 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MARTINEZ, A. G.; PADILHA, F. A.; SILVA, C. G. M. ; RESENDE, A.V. ; MOREIRA, S.G. ; SIMAO, E. P. . Teor nos grãos e exportação de micronutrientes pelo milho em dois níveis de investimento tecnológico.. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal - RN. **Anais**. O Solo e suas Múltiplas Funções. Natal - RN: SBCS/EPARN, 2015. p. 1-4.

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.

PADILHA F. A.; RESENDE, A. V.; MOREIRA, S. G.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. O.; OLIVEIRA, A. C. Produtividade de híbridos de milho sob dois níveis de tecnologia na região central de minas gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, p. 207-218, 2015;

PAULETTI, V. **Nutrientes: Teores e interpretações**. 2.ed. Castro: FUNDAÇÃO ABC, 2004. p.25-27.

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H.; NUNES, F.N.; GEBRIM, F.O. Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos afetado pelo tipo, dose e época de incorporação de adubos verdes ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 997-1006, 2006.

PINOTTI, E. B. **Avaliação de cultivares de milho em função de populações de plantas e épocas de semeadura**. 2013. 134 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.

RAMIREZ,L.; SIMONTACCHI, M.; MURGIA. I.; ZABALETA, E.; LAMATTINA, L.; Nitric oxide, nitrosyl iron complexes, ferritin and frataxin: A well equipped team to preserve plant iron homeostasis. **Plant Science**, v. 181, p. 582–592, 2011.

RESENDE, A.V.; COELHO, A.M.; SANTOS, F.C.; JESUS, J.J. **Fertilidade do Solo e Manejo da Adubação NPK para Alta Produtividade de Milho no Brasil Central**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo,2012. (Circular Técnica,181).

RESENDE, A.V. **Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral. 2005. 37p. (Serie Estudos e Documentos).

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Piracicaba: Potafos, 2003. 20 p. (Informações Agrônomicas, 103).

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1486-1499, 2001.

SÁ, J. C. M.; SANTOS, J. B.; CARDOSO, E. G.; SIUTA JÚNIOR, D.; FERREIRA, C. F.; FERREIRA, A. O.; MASSINHAM, A.; SÁ, M. F. M. Manejo de fertilizantes nitrogenados em sistemas de produção envolvendo os cultivos de soja/trigo e soja/milho safrinha no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. v. 1. p. 567-649

SHIOGA, P.S.; GERAGE, A. C.; ARAÚJO, P.M. de; BIANCO, R. Avaliação estadual de cultivares de milho segunda safra 2012. 1a Ed. Londrina: IAPAR, 2012. 114p. (IAPAR Boletim Técnico 78).

SILVA, C.S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

VASCONCELLOS, C. A.; VIANA, M. C. M. e FERREIRA, J.J. Acumulo de matéria seca e nutriente em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, vol. 33, n 11, 1998.

VASCONCELLOS, C. A.; BARBOSA, J. V. A.; SANTOS, H. L. dos; FRANÇA, G. E. de. Acumulação de massa seca e de nutrientes por dois híbridos de milho com e sem irrigação suplementar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, n. 8, p. 887-901, 1983.

VENDRAME, P. R. S. et al. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 859-864, 2007.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. de. C.; QUINTINO, T. A. **Micronutrientes na cana-de-açúcar - mitos e realidades**. 2011. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Anais_Godofredo_Cesar_Vitti_000fizug9hp02wyiv802hvm3j0am3m2k.pdf. Acesso em: 2016.

VON PINHO, R.G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. A. R.; REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

WILDA, L. R. M. **Amostragem georreferenciada e aplicação à taxa variável de corretivos e fertilizantes: dinâmica da fertilidade do solo em lavoura de grãos do Cerrado**. 2014. 84 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

7. ANEXOS

Anexo I - Resumos das análises de variância

Tabela 1- Significância de efeitos das fontes de variação (FV) na análise de variância para massa seca total em diferentes estádios fenológicos do milho e produtividade de grãos ao final do ciclo. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Variável	FV	Estádio fenológico/Dias Após a Semeadura											
		GL	V4/20	V5/26	V7/33	V9/40	V12/49	VT/57	R1/64	R2/71	R3/84	R5/104	R6/131
Massa seca total	Ambiente -A	1	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	**
	Repetição (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbridos - H	3	ns	**	**	ns	ns	ns	*	**	*	**	**
	AxH	3	ns	n.s	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Resíduo	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CV %		18,08	18,08	15,24	19,65	17,25	18,38	13,74	13,99	16,50	15,30	7,03
Produtividade	Ambiente -A	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns
	Repetição (A)	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns
	Híbridos - H	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**
	AxH	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns
	Resíduo	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CV %		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5%; ns = não significativo. CV = coeficiente de variação.

Tabela 2- Significância dos efeitos das fontes de variação na análise de variância para extração de cobre, ferro, manganês e zinco em diferentes estádios fenológicos do milho. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Variável	FV	GL	Estádio fenológico/Dias Após a Semeadura										
			V4/20	V5/26	V7/33	V9/40	V12/49	VT/57	R1/64	R2/71	R3/84	R5/104	R6/131
Extração de Cobre	Ambiente -A	1	ns	ns	**	ns	ns	**	**	**	**	**	**
	Repetição (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbridos - H	3	ns	ns	**	ns	ns	*	**	*	**	**	**
	AxH	3	ns	n.s	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Resíduo	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CV %		21,0	21,0	17,1	21,8	22,5	24,0	20,7	16,2	18,0	22,3	17,0
Extração de Ferro	Ambiente -A	1	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**
	Repetição (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbridos - H	3	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	ns
	AxH	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
	Resíduo	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CV %		-	22,4	20,6	30,1	27,0	28,9	29,6	27,4	14,7	22,8	22,1
Extração de Manganês	Ambiente -A	1	ns	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**
	Repetição (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbridos - H	3	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	**
	AxH	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Resíduo	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CV %			22,4	20,6	25,5	19,1	26,8	21,5	21,4	17,3	23,7	15,2
Extração de Zinco	Ambiente -A	1	*	*	*	**	**	**	**	**	**	**	**
	Repetição (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbridos - H	3	**	**	n.s	ns	ns	*	**	**	*	**	**
	AxH	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Resíduo	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CV %			14,1	23,59	25,56	25,62	25,47	17,74	25,0	20,67	25,79	11,44

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5%; ns = não significativo. CV = coeficiente de variação.

Anexo II - Teores nos grãos e exportação cobre, ferro, manganês e zinco.

Tabela 1 - Teor nos grãos (mg kg⁻¹) e exportação de cobre (g ha⁻¹) por híbridos de milho cultivados em ambientes com alto e médio investimento em adubação. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Híbrido	Teor de Cu nos grãos		Média de híbridos	Exportação de Cu		Média de híbridos
	Investimento Tecnológico			Investimento Tecnológico		
	Alto	Médio		Alto	Médio	
AG 8088 PRO X	1,6	1,6	1,5 b	17,2	16,4	16,8 b
DKB 310 PRO 2	1,7	1,3	1,5 b	23,6	16,5	20,0 b
DKB 390 PRO	2,8	2,2	2,5 a	29,6	25,1	27,4 a
P 30F53 YH	1,4	1,3	1,4 b	13,9	11,7	12,8 b
Média de Ambientes	1,9 A	1,6 A	1,7	21,0 A	17,4 A	19,2
CV (%)	21,45			26,7		

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 2 - Teor nos grãos (mg kg⁻¹) e exportação de ferro (g ha⁻¹) por híbridos de milho cultivados em ambientes com alto e médio investimento em adubação. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Híbrido	Teor de Fe nos grãos		Média de híbridos	Exportação de Fe		Média de híbridos
	Investimento Tecnológico			Investimento Tecnológico		
	Alto	Médio		Alto	Médio	
AG 8088 PRO X	11,0	9,3	10,1 b	119,8	99,5	109,7 a
DKB 310 PRO2	9,1	8,3	8,7 b	128,0	103,4	115,7 a
DKB 390 PRO	11,4	10,2	10,7 b	122,1	113,3	117,7 a
P 30F53 YH	14,3	12,2	13,3 a	140,5	106,3	123,4 a
Média de Ambientes	11,5 A	10,0 A	10,7	127,6 A	105,7 B	116,6
CV (%)	18,8			22,2		

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Teor nos grãos (mg kg^{-1}) e exportação de manganês (g ha^{-1}) por híbridos de milho cultivados em ambientes com alto e médio investimento em adubação. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Híbrido	Teor de Mn nos grãos		Média de híbridos	Exportação de Mn		Média de híbridos
	Investimento Tecnológico			Investimento Tecnológico		
	Alto	Médio		Alto	Médio	
AG 8088 PRO X	4,5	3,3	3,9 a	48,6	36,0	42,3 b
DKB 310 PRO2	4,9	4,0	4,5 a	69,1	50,5	59,8 a
DKB 390 PRO	5,1	4,1	4,6 a	55,4	45,5	50,4 a
P 30F53 YH	4,2	3,7	4,0 a	41,4	33,1	37,3 b
Média de Ambientes	4,6 A	3,8 A	4,2	53,6 A	41,3 B	47,5
CV (%)	22,0			27,5		

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Teor nos grãos (mg kg^{-1}) e exportação de zinco (g ha^{-1}) por híbridos de milho cultivados em ambientes com alto e médio investimento em adubação. Sete Lagoas – MG, safra 2014/2015.

Híbrido	Teor de Zn nos grãos		Média de híbridos	Exportação de Zn		Média de híbridos
	Investimento Tecnológico			Investimento Tecnológico		
	Alto	Médio		Alto	Médio	
AG 8088 PRO X	16,6	18,5	17,6 a	179,5	186,8	183,1 b
DKB 310 PRO2	17,2	17,7	17,4 a	241,1	175,8	208,5 a
DKB 390 PRO	15,7	17,2	16,5 a	166,5	172,0	169,2 c
P 30F53 YH	16,0	20,0	18,5 a	158,0	176,5	167,0 c
Média de Ambientes	16,4 B	18,6 A	17,5	186,1 A	177,7 B	182,0
CV (%)	6,5			7,4		

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.