

Compartimentalização e Redistribuição de Zinco em Plantas de Milho sob Dois Níveis de Adubação em Latossolo no Cerrado

Aarón Martínez Gutiérrez⁽¹⁾; Carine Gregório Machado Silva⁽¹⁾; Álvaro Vilela de Resende⁽²⁾; Eduardo de Paula Simão⁽³⁾; Denize Carvalho Martins⁽³⁾; Paulo Evaristo Oliveira Guimarães⁽²⁾

⁽¹⁾ Estudante do Curso de Mestrado em Ciências Agrárias - PPGCA; Universidade Federal de São João Del Rei - UFSJ; Sete Lagoas – MG; E-mail aaron_0715@hotmail.com; ⁽²⁾ Pesquisador; Embrapa Milho e Sorgo; Sete Lagoas – MG; E-mail alvaro.resende@embrapa.br; ⁽³⁾ Doutorado(a) em Fitotecnia; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa – MG.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi caracterizar os compartimentos de acúmulo e a redistribuição do Zn absorvido pelo milho. Foram cultivados três genótipos de milho, sendo um transgênico e dois convencionais, em ambientes com alto e médio investimento em adubação. Nos estádios R2 (início do enchimento de grãos) e R6 (maturação fisiológica), foram coletadas plantas para quantificação da extração de Zn nos terços inferior, médio e superior, separando-se as folhas e colmos, além da palha, sabugo e grãos. O milho direciona o Zn absorvido para o terço superior da planta, mas, em condições de maior suprimento, as partes inferiores funcionam como órgãos de reserva. O colmo armazena 23 a 42%, a palha da espiga 19 a 26% e os grãos de 29 a 33% do Zn absorvido. A maior disponibilidade Zn no ambiente de alto investimento em adubação incrementa significativamente a extração total, mas não influencia os teores nos grãos e a exportação do micronutriente, que corresponde a cerca de 16 g t⁻¹.

Termos de indexação: Micronutriente, remobilização, nutrição vegetal, demanda nutricional

INTRODUÇÃO

Dentre os fatores que afetam a produtividade do milho, é frequente o manejo inadequado da adubação. Requeridos pelas plantas em pequenas quantidades, os micronutrientes ganham importância crescente para o desenvolvimento das culturas à medida que se buscam maiores produtividades. A fertilização deve ser equilibrada a fim de atender à demanda de nutrientes da cultura, sendo necessária sua reposição também para manter a fertilidade do solo adequada aos cultivos subsequentes.

A agricultura brasileira, especialmente no cerrado, está sujeita a deficiências ou desequilíbrios de micronutrientes em função da baixa fertilidade natural do solo, da exportação pelas colheitas, ou pelo uso excessivo de calcário e adubos fosfatados que contribuem para a insolubilização de

micronutrientes como o zinco (Bataglia & Raij, 1989). Isso exige maior atenção no manejo da adubação, evitando criar situações que dificultam a absorção dos micronutrientes pelas plantas.

A deficiência de zinco (Zn) compreende uma das principais limitações nutricionais em áreas do cerrado (Malavolta et al., 1997; Gonçalves Júnior et al., 2006), o que pode provocar diminuição da produtividade, sendo o milho uma das culturas mais sensíveis. Dessa forma, conhecer o comportamento do Zn no sistema solo-planta é de especial interesse quando se visa alto potencial produtivo, tornando relevante caracterizar a demanda de extração, a dinâmica interna na planta e a exportação pelo milho em diferentes sistemas de cultivo ou níveis de investimento tecnológico.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar os compartimentos de acúmulo e a redistribuição do zinco absorvido pelo milho, quando cultivado sob dois níveis de adubação em Latossolo da região do Cerrado.

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. A área experimental é constituída de Latossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 2013), com textura muito argilosa (660 g kg⁻¹ de argila).

Foram cultivados três genótipos de milho, sendo um transgênico (híbridos simples DKB 310 PRO 2) e dois convencionais (híbrido experimental 11873 e BRS 1040, da Embrapa), em ambientes com alto e médio investimento em adubação. Em cada ambiente, utilizou-se o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. As parcelas constituíram-se de quatro linhas de 6 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m, sendo considerada como área útil as duas linhas centrais com bordaduras de um metro nas extremidades (4 m²). Previamente à instalação do experimento, 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, com a finalidade de proporcionar condições diferenciais de fertilidade do solo naquele ambiente.

Também no ambiente de alto investimento, as sementes foram tratadas com o inseticida Cropstar® (350 mL 100 kg⁻¹) mais o fertilizante Biozyme® (600 mL 100 kg⁻¹), que contém 2,43% de Zn. 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, para alto e médio investimento, respectivamente.

A primeira adubação de cobertura para ambos os ambientes, foi de 90 kg ha⁻¹ de N (200 kg ha⁻¹ de ureia) no estágio V4. No ambiente de alto investimento, foram realizadas ainda mais duas adubações de cobertura, fornecendo-se 70 kg ha⁻¹ de N e de K₂O (350 kg ha⁻¹ de NPK 20-00-20) 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) no estágio V7. Por fim, ainda no estágio V7, neste ambiente foi realizada uma adubação foliar com uma mistura dos fertilizantes Biozyme® (2 L ha⁻¹), fosfato monoamônico - MAP (2,5 kg ha⁻¹) e nitrato de cálcio (1,5 kg ha⁻¹), utilizando pulverizador costal. No estágio V9, os teores de Zn (extrator Mehlich 1) na camada de 0 a 20 cm de profundidade eram de 5,4 e 3,4 mg dm⁻³ nos ambientes de alto e médio investimento, respectivamente.

Nos estádios R2 (início do enchimento de grãos) e R6 (maturação fisiológica), foram coletadas plantas em cada parcela para análise de tecidos e quantificação da extração de zinco. As plantas foram cortadas rente ao solo e fragmentadas em terço inferior, médio e superior, separando-se as folhas e colmos dessas partes, além da palha, sabugo e grãos (este último somente em R6). As amostras das diferentes partes da planta foram secas em estufa a 65°C até ficarem com peso constante. Na sequência, foram pesadas, moídas e enviadas ao laboratório para as determinações dos teores de Zn, segundo metodologia descrita em Silva (2009). A partir do teor de Zn e massa seca, foi calculado o acúmulo do micronutriente em cada compartimento, expressando os resultados por hectare, admitindo-se uma população de 70 mil plantas. Após a colheita da área útil, determinou-se a produtividade de grãos com 13% umidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta para verificar a existência de interação entre híbridos e ambientes de investimento em adubação. Utilizou-se o programa Sisvar (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre ambientes

de investimento em adubação e híbridos para teor ou acúmulo de Zn nos compartimentos avaliados nas plantas de milho, tanto no enchimento de grãos (R2) quanto na maturação fisiológica (R6). Em alguns casos, detectou-se efeito isolado de ambiente e, em outros, efeito de híbridos. Assim sendo, optou-se por apresentar os resultados considerando a média dos valores expressos pelos três híbridos, de modo a se obter uma caracterização do Zn absorvido em função dos dois ambientes de adubação (Tabelas 1, 2 e 3).

Observa-se que os teores de Zn nas folhas no estágio R2 variaram de 15,2 a 38,1 mg kg⁻¹ nos ambientes de médio e alto investimento, respectivamente (Tabela 2), enquadrando-se na faixa considerada adequada para a cultura do milho, entre 15 e 100 mg kg⁻¹ (Bull, 1993; Raji & Cantarella, 1996). Entretanto, as folhas superiores é que expressaram os teores mais elevados. Essa mesma tendência foi observada para as partes do colmo.

Diferenças estatisticamente significativas devido aos ambientes de investimento em adubação foram detectadas para o teor e acúmulo de Zn no estágio R2 apenas nas folhas e colmo dos terços médio e inferior (Tabela 2). Desse modo, constata-se que o milho prioriza a alocação desse micronutriente para as partes mais jovens e, mesmo sob condições de menor disponibilidade (médio investimento em adubação), consegue manter o terço superior mais bem suprido em relação ao restante da planta. Por outro lado, percebe-se que em condições de maior fornecimento (alto investimento em adubação) o Zn é armazenado nas partes mais velhas, sobretudo no terço inferior do colmo.

Verifica-se que no período até a maturação fisiológica (estádio R6) ocorreram alterações substanciais na distribuição do Zn entre os compartimentos da planta (Tabelas 1 e 3) em comparação ao existente em R2 (Tabela 2). O novo dreno criado para a formação dos grãos fez com que houvesse redistribuição do Zn que havia sido acumulado nas partes vegetativas, notadamente nas folhas. Com o desenvolvimento das espigas, houve redução da proporção de Zn acumulado nas folhas e nos colmos. Segundo Jurkowska et al. (1990), quanto maior o teor no tecido vegetativo, maior é a remobilização e acúmulo deste micronutriente nos grãos.

Para todos os ambientes e épocas de amostragem, o colmo mostra-se como importante repositório de Zn, armazenando de 23 a 42 % do que foi alocado na parte aérea. No estágio de maturação fisiológica, a espiga passa a constituir o principal local de acúmulo de Zn (Tabela 3). É interessante notar que, após os grãos, a palha da espiga é o compartimento que isoladamente estoca mais Zn, representando cerca de um quarto do acúmulo total. Assim como os grãos, a palha acaba

Tabela 1. Variação relativa (%) do Zn acumulado entre os estádios R2 e R6, em diferentes compartimentos da planta de milho, sob dois níveis de investimento em adubação. Média de três híbridos.

Compartimento	Investimento em adubação	
	Alto	Médio
Folha inferior	-46,7	-33,5
Folha média	-44,0	-48,7
Folha superior	-23,4	-49,7
Colmo inferior	-49,2	-8,0
Colmo médio	-18,9	-2,0
Colmo superior	35,0	-1,6
Palha	60,6	63,6
Sabugo	6,8	-13,9
Planta inteira	32,4	46,2

representando um forte dreno de Zn, visto que há incremento de mais de 60% no conteúdo do micronutriente na palha entre os estádios R2 e R6 (Tabela 1).

A extração de Zn pelo milho perdura até o final do ciclo, sendo que um terço ou mais da absorção total ocorre tardiamente, a partir do início do enchimento de grãos até a maturação. Do total de 563 e 493 g ha⁻¹ de Zn acumulados na planta inteira no estádio R6, 61,1 e 66,4 % foram direcionados para as espigas, nos ambientes alto e médio investimento, respectivamente. Esse resultado reforça os relatos de que o Zn é o micronutriente que acumula mais nas espigas em relação à planta inteira (Duarte et al., 2003).

No presente estudo, a maior disponibilidade de Zn no ambiente de alto investimento incrementou significativamente a extração total, mas não influenciou os teores nos grãos ou a exportação do micronutriente (Tabelas 2 e 3). Na média dos híbridos, não houve efeito do nível de adubação sobre a produtividade de grãos, a qual foi 10,7 e 10,0 t ha⁻¹ para alto e médio investimento, respectivamente, resultando em potencial de exportação de 165 e 162 g ha⁻¹ de Zn com a colheita dos grãos. Essas quantidades corresponderam a 29,4 e 32,9 % do total acumulado na parte aérea, para os ambientes de alto e médio investimento tecnológico, respectivamente (Tabela 3). As quantidades de Zn presentes nos grãos estão próximas à obtida por Martínez et al. (2015), que foi de 182 g ha⁻¹ para uma produtividade de 12,9 t ha⁻¹, na média de 10 híbridos. Se assemelham também ao valor de 170 g ha⁻¹ relatado por Malavolta et al. (1997), para uma produtividade de 9,0 t ha⁻¹.

Todavia, tanto a proporção extraída pelas plantas a partir da fase de enchimento da espiga quanto o percentual do Zn absorvido que foi alocado nos

grãos foram de menor magnitude em comparação aos padrões encontrados por Bender et al. (2013), ao avaliarem o comportamento de seis híbridos transgênicos em dois locais dos EUA, com produtividade ao redor de 12 t ha⁻¹. Esses autores observaram que 52% da absorção total ocorreu após o florescimento e que o acúmulo nos grãos correspondeu a 62% do Zn extraído. Tais variações reforçam a necessidade de mais estudos regionalizados, que considerem os efeitos de cultivares, ambientes, tratos culturais e potencial produtivo, de modo a aprimorar os conhecimentos e subsidiar melhorias no manejo de micronutrientes na cultura do milho.

CONCLUSÕES

O milho direciona o Zn absorvido para o terço superior da planta, mas, em condições de maior suprimento, as partes inferiores funcionam como órgãos de reserva.

O colmo armazena 23 a 42%, a palha da espiga 19 a 26% e os grãos de 29 a 33% do Zn absorvido.

A maior disponibilidade de Zn no ambiente de alto investimento em adubação incrementa significativamente a extração total, mas não influencia os teores nos grãos e a exportação do micronutriente, que corresponde a cerca de 16 g t⁻¹.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, pelo apoio financeiro. Ao CONACYT do México, pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. V. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 205-212, 1989.
- 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** 105:161-170. 2013.
- DUARTE, A.P.; KIEHL, J.C.; CAMARGO, M.A.F. et al. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.1-20, 2003.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042. 2011.
- GONÇALVES JUNIOR, A.C. et al. Avaliação de extratores e fitodisponibilidade de zinco para a cultura do milho em Latossolo Vermelho eutroférico. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 7-12, 2006.

JURKOWSKA, H.; WISNIOWSKA-KIELIAN, B.; ROGOZ, A.; WOJCIECHOWICZ, T. The effect of N-fertilization rate on the levels of mineral components in various plant species: Part II. Microelements. **Rolnictwo Z**, v.29, p.51-64, 1990.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. 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. 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. O Solo e suas Múltiplas Funções. **Anais...** Natal - RN: SBCS/EPARN, 2015. p. 1-4.

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

Tabela 2. Teor (mg kg⁻¹), acúmulo (g ha⁻¹) e acúmulo relativo (%) de Zn em diferentes compartimentos da planta de milho no estádio R2, sob dois níveis de investimento em adubação. Média de três híbridos.

Compartimento	Investimento em adubação					
	Alto			Médio		
	Teor	Acúmulo	Ac. relativo	Teor	Acúmulo	Ac. relativo
Folha inferior	24,4 a	35,4 a	8,3	15,2 b	19,1 b	5,7
Folha média	20,0 a	40,3 a	9,5	18,1 b	34,3 b	10,2
Folha superior	38,1 a	46,4 a	10,9	37,5 a	42,5 a	12,6
Colmo inferior	13,6 a	79,6 a	18,7	9,0 b	48,0 a	14,2
Colmo médio	25,0 a	54,4 a	12,8	17,6 b	35,0 b	10,4
Colmo superior	39,3 a	42,4 a	10,0	35,8 a	36,2 a	10,8
Palha	30,3 a	80,9 a	19,0	28,2 b	77,5 a	23,0
Sabugo	38,2 a	45,5 a	10,7	35,2 a	44,4 a	13,2
Total	-	425,0 a	100	-	337,0 b	100

Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Teor (mg kg⁻¹), acúmulo (g ha⁻¹) e acúmulo relativo (%) de Zn em diferentes compartimentos da planta de milho no estádio R6, sob dois níveis de investimento em adubação. Média de três híbridos.

Compartimento	Investimento em adubação					
	Alto			Médio		
	Teor	Acúmulo	Ac. relativo	Teor	Acúmulo	Ac. relativo
Folha inferior	21,1 a	18,9 a	3,4	14,5 b	12,7 b	2,6
Folha média	13,2 a	22,5 a	4,0	11,7 b	17,6 b	3,6
Folha superior	28,9 a	35,6 a	6,3	23,4 b	21,4 b	4,3
Colmo inferior	8,9 a	40,4 a	7,2	10,2 a	44,1 a	9,0
Colmo médio	15,2 a	44,1 a	7,8	16,8 a	34,3 a	7,0
Colmo superior	48,8 a	57,3 a	10,2	41,9 b	35,7 a	7,2
Palha	51,5 a	130,0 a	23,1	51,0 a	126,8 a	25,7
Sabugo	26,3 a	48,6 a	8,6	21,5 b	38,2 b	7,8
Grão	15,4 a	165,2 a	29,4	16,0 a	161,9 a	32,9
Total	-	563,0 a	100	-	493,0 b	100

Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste F a 5% de probabilidade.