

Compartimentalização e redistribuição de macronutrientes em milho cultivado sob dois níveis de investimento em adubação

Carine Gregório Machado Silva⁽¹⁾; Álvaro Vilela de Resende⁽²⁾; Aaron Martínez Gutiérrez⁽³⁾; Gabriela Oliveira Almeida⁽³⁾; Eduardo de Paula Simão⁽⁴⁾; Lauro José Moreira Guimarães⁽²⁾

⁽¹⁾Estudante de mestrado; Universidade Federal de São João Del Rei - UFSJ; Sete Lagoas, MG; carine.greg@gmail.com; ⁽²⁾Pesquisador; Embrapa Milho e Sorgo; Sete Lagoas, MG; alvaro.resende@embrapa.br; ⁽³⁾Estudante de mestrado; UFSJ; ⁽⁴⁾Estudante de doutorado; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, MG .

RESUMO: Conhecer a demanda por nutrientes e como eles estão distribuídos na planta fornece dados importantes para subsidiar o manejo de adubação. O objetivo desse estudo foi avaliar a absorção, compartimentalização e redistribuição de macronutrientes pelo milho em ambientes com médio e alto investimento em adubação. Foram cultivados os híbridos DKB 310 PRO 2, BRS 1040 e 11873. Foram coletadas plantas nos estádios R2 e R6, separando em folhas, colmo, palha da espiga, sabugo e grãos, para determinação do acúmulo de macronutrientes. As folhas são o principal compartimento de reserva e redistribuição de N e S. Todos os compartimentos da planta atuam como fonte do P direcionado aos grãos. O colmo é o local preferencial de acumulação de K quando há maior fornecimento deste nutriente. O colmo, e não a folha, funciona como fonte na redistribuição de Ca e Mg na planta durante a formação dos grãos. Em média, a colheita dos grãos exporta, respectivamente, 48, 64, 21, 1, 19 e 42 % do N, P, K, Ca, Mg e S absorvidos pela cultura do milho. A maior extração de nutrientes pelo milho cultivado sob alto investimento em adubação não garante incremento na produtividade de grãos.

Termos de indexação: Acúmulo de nutrientes, remobilização, exportação de nutrientes.

INTRODUÇÃO

O aumento expressivo da produtividade de milho nos últimos anos é devido às mudanças no manejo cultural, de adubação e, principalmente à utilização de cultivares modernas, em áreas com adoção de técnicas que permitem a intensificação do sistema de produção, como o plantio direto e a rotação de culturas. Essas técnicas auxiliam na conservação do solo e promovem aumento da produtividade.

Devido ao avanço do melhoramento genético, os híbridos de milho disponíveis apresentam-se com potencial produtivo cada vez mais elevado e, portanto, é de se esperar que ao longo do tempo ocorram mudanças nos padrões de exigência nutricional da cultura. Via de regra, as maiores

produtividades são alcançadas em lavouras com médio a alto investimento em adubação, mas a real exigência da cultura em cada situação nem sempre é conhecida.

Nesse contexto, além de quantificar a extração, é importante identificar as épocas de maior demanda dos nutrientes e como eles são distribuídos na planta (Duarte et al., 2003). A partir desses dados é possível planejar adubações mais eficientes, fornecendo nutrientes na quantidade correta, evitando gastos desnecessários e perdas no sistema, diminuindo o risco de contaminação ambiental.

O objetivo desse estudo foi avaliar a absorção, compartimentalização e redistribuição de macronutrientes no início do enchimento de grãos e na maturação fisiológica do milho, quando cultivado em ambientes com médio e alto investimento em adubação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido sob irrigação complementar na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas – MG, na safra 2014/2015, em um Latossolo Vermelho distroférrico muito argiloso (Embrapa, 2013). A área experimental vem sendo mantida sob plantio direto há cinco safras, com cultivos de soja, milho, feijão e plantas de cobertura (milheto e crotalária).

A área é dividida em dois ambientes condicionados sob médio ou alto investimento tecnológico em adubação. Para o estabelecimento do ambiente de alto investimento, na safra 2011/2012 foram realizadas aplicações a lanço de superfosfato simples (100 kg ha⁻¹), cloreto de potássio (200 kg ha⁻¹), óxido de magnésio (429 kg ha⁻¹) e FTE BR 10 (50 kg ha⁻¹), com o objetivo de se elevar a condição de fertilidade do solo. Após a aplicação desses fertilizantes, foram realizadas ainda outras práticas culturais conforme apresentado por Padilha (2014).

A partir da safra 2011/2012, em todos os experimentos conduzidos, o ambiente de alto investimento recebeu maior adubação de

manutenção. Na entressafra de 2014, foi cultivado feijão nos dois ambientes, apenas com utilização de 40 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônio) em cobertura, sendo realizada irrigação complementar. Em novembro de 2014, foram realizadas no ambiente de alto investimento aplicações de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, 1 t ha⁻¹ de gesso e 200 kg ha⁻¹ de uma mistura 3:1 de cloreto de potássio e FTE BR 12.

No presente experimento, para cada ambiente (níveis de investimento em adubação), o delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas de quatro linhas de 6 m de comprimento espaçadas 0,5 m entre si. Como área útil, consideraram-se as duas linhas centrais. Foram avaliados três genótipos de milho: DKB 310 PRO 2 (híbrido comercial transgênico), BRS 1040 (híbrido comercial convencional) e 11873 (híbrido simples experimental, da Embrapa).

No tratamento de sementes para o ambiente de alto investimento, utilizou-se um inseticida (350 mL 100 kg⁻¹) com os princípios ativos imidacloprido (150 g L⁻¹) e tiodicarbe (450 g L⁻¹), mais o fertilizante multinutriente Biozyme® (600 mL 100 kg⁻¹). Para o ambiente de médio investimento, as sementes receberam somente o inseticida.

A semeadura foi realizada no dia 17/12/2014, utilizando 340 e 500 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 08-28-16 + 0,3% de B nos ambientes de médio e alto investimento, respectivamente. Empregou-se uma semeadora de parcelas, com distribuição de 70.000 sementes por hectare. Quando as plantas atingiram o estágio fenológico V4, foi realizada uma adubação de cobertura em todo o experimento, com 90 kg ha⁻¹ de N na forma 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 K₂O (NPK 20-00-20) em V5, e 40 kg ha⁻¹ de N mais 44 kg ha⁻¹ de S (sulfato de amônio) no estágio V7. Ainda em V7, 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.

Em janeiro de 2015 foi realizada amostragem de solo de 0 a 20 cm de profundidade para caracterizar a condição de fertilidade em cada ambiente de investimento em adubação (Tabela 1).

Foram coletadas plantas em cada parcela nos estádios fenológicos R2 (início do enchimento de grãos) e R6 (maturação fisiológica). As plantas foram cortadas rente ao solo e separadas em folha, colmo, palha, sabugo e grãos. As amostras foram secas em estufa a 65 °C e pesadas para quantificação da massa seca, sendo em seguida trituradas e analisadas quanto aos teores de N, P,

K, Ca, Mg e S, segundo metodologias descritas em Silva (2009). A partir desses teores e da massa seca em cada amostra, foram calculados os respectivos acúmulos de macronutrientes, de modo a determinar sua compartimentalização na planta de milho.

Tabela 1. Condições de fertilidade do solo (0-20 cm de profundidade) em ambientes com médio e alto investimento em adubação, aos 20 dias após a semeadura do milho, no estágio V5.

Atributo	Ambiente/Investimento	
	Médio	Alto
Mat.Org. (dag kg ⁻¹)	4,1	3,9
pH em água	6,1	6,0
Al (cmol _c dm ⁻³)	0	0
H+Al (cmol _c cm ⁻³)	5,6	6,8
P Mehlich (mg dm ⁻³)	14	22
K (mg dm ⁻³)	45	159
Ca (cmol _c dm ⁻³)	6,2	5,7
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,0	1,2
CTC (cmol _c dm ⁻³)	12,9	14,1
V (%)	57	52
m (%)	0	0
S (mg dm ⁻³)	4	15
B (mg dm ⁻³)	1,1	1,8
Cu (mg dm ⁻³)	0,9	0,5
Fe (mg dm ⁻³)	28	19
Mn (mg dm ³)	54	9
Zn (mg dm ⁻³)	3	4

Os dados foram submetidos 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, com auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram verificadas diferenças significativas de acúmulo de nutrientes entre os ambientes de cultivo, para alguns dos compartimentos da planta, nas duas épocas avaliadas (Tabelas 2 e 3).

No estágio R2 (início do enchimento de grãos), observou-se maior acúmulo de N, K, Mg e S nas folhas, e N, K e S nos colmos do milho em resposta ao ambiente com maior investimento em adubação. Porém, nesta fase do ciclo, a espiga ainda não

expressava efeitos da disponibilidade diferenciada de nutrientes entre os dois ambientes (Tabela 2). Na maturação fisiológica (estádio R6), acentuaram-se as diferenças, com reflexos inclusive no compartimento palha + sabugo, que sob alto investimento em adubação apresentou maior acúmulo de todos os macronutrientes, exceto Ca. Os grãos tiveram acúmulo diferenciado de N e S entre os ambientes (Tabela 3).

Conforme esperado, as plantas cultivadas no ambiente com maior aporte de fertilizantes absorveram maiores quantidades totais de nutrientes, exceto para Ca e Mg em R2, para os quais as quantidades acumuladas foram superiores no ambiente de médio investimento. Esse comportamento provavelmente foi devido à quantidade mais elevada de K fornecida no ambiente de alto investimento, que acabou por inibir a absorção de Ca e Mg.

A quantidade de N acumulada nas folhas em R2 foi bastante superior em relação aos demais compartimentos (Tabela 2), sendo que ao final do ciclo (estádio R6) houve forte redistribuição para outras partes, principalmente para os grãos (Tabela 3). Essa redistribuição drenou 66 e 61 % do N foliar nos ambientes de médio e alto investimento, respectivamente. De acordo com Bender et al. (2013) aproximadamente 50 % do total de N absorvido pelo milho é redirecionado para os grãos. No presente trabalho, esse valor foi de 49 e 47 %, respectivamente, para médio e alto investimento em adubação (Tabela 3).

Mais de 70 % da quantidade de P nas folhas e mais de 40 % desse nutriente presente nos colmos em R2 foram direcionados para os grãos (Tabelas 2 e 3). Ao final do ciclo a quantidade de P nos grãos correspondeu a 67 e 60 % do total absorvido nos ambientes de médio e alto investimento, respectivamente. Esses índices de exportação revelam uma tendência de redução em comparação ao reportado na literatura mais antiga, na qual os valores chegam a até 90 % com a colheita dos grãos (Vasconcellos et al., 1983; Coelho & França, 1995).

O colmo é o principal local de acumulação de K na planta de milho, conforme se observa para o ambiente de alto investimento em adubação, e aí tende a permanecer, uma vez que os processos de redistribuição ou de perda por lavagem ocorrem de forma mais intensa a partir do K presente nas folhas (Tabela 2). É interessante notar que o milho chegou à maturação fisiológica com aproximadamente 77 % da quantidade de K que havia absorvido até R2 no ambiente de alto investimento, havendo, portanto, perda do nutriente na fase de senescência da cultura. Esse comportamento é comum e Büll (1993) relata que as plantas de milho podem chegar ao

final do ciclo com até a metade da quantidade máxima de K acumulada anteriormente.

Em ambos ambientes houve incremento do acúmulo de Ca e Mg nas folhas entre R2 e R6, e a mobilização para os grãos ocorreu principalmente a partir do colmo (Tabela 2). O Ca apresenta baixíssima mobilidade na planta (Malavolta et al., 1997) e a porcentagem de redistribuição das folhas e colmos do milho para outros compartimentos é muito pequena. De acordo com Vasconcellos et al., (1998), 3 a 5 % do total do Ca absorvido é alocado nas partes reprodutivas. No presente estudo, os grãos acumularam menos de 1% do total de Ca presente na planta (Tabela 3), sendo o macronutriente exportado em menor quantidade ($0,4 \text{ kg ha}^{-1}$). A exportação de Mg variou de 18 a 20% do absorvido ($8 \text{ a } 9 \text{ kg ha}^{-1}$).

As folhas foram o principal local de reserva e redistribuição do S absorvido e o maior investimento em adubação proporcionou níveis mais elevados de armazenamento do nutriente em todos os compartimentos (Tabelas 2 e 3). Os grãos receberam 40% ou mais do S acumulado pela planta e a exportação variou de 9 a 10 kg ha^{-1} .

Apesar da maior extração de nutrientes, a média de produtividade de grãos dos híbridos não foi superior no ambiente de alto investimento em adubação, revelando provável consumo de luxo, principalmente de N e K. Na média dos dois ambientes, o híbrido DKB 310 PRO 2 foi significativamente mais produtivo ($13.219 \text{ kg ha}^{-1}$) que o BRS 1040 (9.013 kg ha^{-1}) e o 11873 (8.933 kg ha^{-1}), os quais não diferiram entre si.

CONCLUSÕES

As folhas são o principal compartimento de reserva e redistribuição de N e S.

Todos os compartimentos da planta atuam como fonte do P direcionado aos grãos.

O colmo é o local preferencial de acumulação de K quando há maior fornecimento deste nutriente.

O colmo, e não a folha, funciona como fonte na redistribuição de Ca e Mg na planta durante a formação dos grãos.

Em média, a colheita dos grãos exporta, respectivamente, 48, 64, 21, 1, 19 e 42 % do N, P, K, Ca, Mg e S absorvidos pela cultura do milho.

A maior extração de nutrientes pelo milho cultivado sob alto investimento em adubação não garante incremento na produtividade de grãos.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, pelo auxílio financeiro e concessão de bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

- 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, n.1, p.161-170, 2013.
- BULL, L. T. **Nutrição mineral do milho**. In: Bull, L. T., & Cantarella, H (Ed.). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba. 1993. p.63-145.
- COELHO, A. M., & FRANÇA, G. D. Seja o Doutor do seu Milho. **Arquivo do agrônomo** n°2 Potafos, 1995.
- DUARTE, A. P., KIEHL, J. D. C., CAMARGO, M. A. F. D., & RECO, P. C. 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, 2003.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2013. 412p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.
- 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.
- PADILHA, F. A., Desempenho de híbridos de milho em dois níveis de investimento tecnológico na região de Sete Lagoas – MG. 2014. 72p. **Dissertação** (Mestrado), Universidade federal de São João Del Rei, Sete Lagoas.
- SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 370p. (Embrapa Solos. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia).
- VASCONCELLOS, C. A., VIANA, M. C. M., & FERREIRA, J. J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.11, p.1835-1845, 1998.

Tabela 2. Acúmulo equivalente de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S (kg ha⁻¹) em compartimentos da planta de milho no estágio fenológico R2, em ambientes com médio e alto investimento em adubação. Média de três híbridos.

Nutriente	Compartimento							
	Total		Folha		Colmo		Palha + sabugo + grãos	
	Ambiente/ Investimento		Ambiente/ Investimento		Ambiente/ Investimento		Ambiente/ Investimento	
	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto
N	276 b	363 a	126 b (66)	156 a (61)	68 b (14)	125 a (36)	83 (57)	82 (43)
P ₂ O ₅	64	70	22 (75)	27 (70)	15 (43)	19 (41)	27 (76)	24 (58)
K ₂ O	173 b	389 a	78 b (75)	118 a (53)	54 b (0)	230 a (29)	42 (24)	41 (4)
Ca	58	52	33 (0)	29 (0)	21 (15)	19 (13)	4 (37)	3 (0)
Mg	52	41	17 b (0)	12 a (0)	28 (43)	23 (34)	8 (53)	7 (15)
S	17	21	8 b (38)	10 a (32)	4 b (7)	6 a (17)	5 (53)	5 (27)

Para cada variável, médias seguidas de letras distintas diferem entre os ambientes de investimento pelo teste de Scott-Knott a 5%. *Valor entre parêntesis corresponde ao percentual do nutriente redistribuído para outros compartimentos entre os estádios R2 e R6.

Tabela 3. Acúmulo equivalente de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S (kg ha⁻¹) em compartimentos da planta de milho no estágio fenológico R6, em ambientes com médio e alto investimento em adubação. Média de três híbridos.

Nutriente	Compartimento									
	Total		Folha		Colmo		Palha + sabugo		Grãos	
	Ambiente / Investimento		Ambiente / Investimento		Ambiente / Investimento		Ambiente / Investimento		Ambiente / Investimento	
	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto
N	266 b	359 a	43 b (16)	62 a (17)	58 b (22)	80 a (22)	35 b (13)	47 a (13)	131b(49)	172a(47)
P ₂ O ₅	63 b	73 a	6 b (9)	8 a (11)	9 (14)	11 (15)	6 b (10)	10 a (14)	42 (67)	44 (60)
K ₂ O	145 b	298 a	20 b (14)	56 a (19)	54 b (37)	164 a (55)	31 b (22)	40 a (13)	40 (28)	39 (13)
Ca	57	57	37 (64)	36 (63)	18 (31)	17 (30)	3 (4)	4 (7)	0,4 (1)	0,4 (1)
Mg	44	43	17 (38)	14 (33)	16 (36)	15 (34)	4 b (8)	6 a (13)	8 (18)	9 (20)

S 20 b 25 a 5 b (25) 7 a (27) 4 b (20) 5 a (20) 2 b (12) 3 a (14) 9 b (43) 10 a (40)

Para cada variável, médias seguidas de letras distintas diferem entre os ambientes de investimento pelo teste de Scott-Knott a 5%.

*Valor entre parêntesis corresponde ao percentual do nutriente acumulado em cada compartimento em relação ao total absorvido.