



CARINE GREGÓRIO MACHADO SILVA

**ABSORÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM MILHO
TRANSGÊNICO SOB DOIS NÍVEIS DE INVESTIMENTO EM
ADUBAÇÃO**

**SETE LAGOAS
2016**

CARINE GREGÓRIO MACHADO SILVA

**ABSORÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM MILHO
TRANSGÊNICO SOB DOIS NÍVEIS DE INVESTIMENTO EM
ADUBAÇÃO**

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, na área de concentração em produção vegetal.

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)

S586a Silva, Carine Gregório Machado.
Absorção e exportação de macronutrientes em milho
transgênico sob dois níveis de investimento em
adubação / Carine Gregório Machado Silva ; orientador
Álvaro Vilela de Resende; coorientador Silvino
Guimarães Moreira. -- Sete Lagoas, 2016.
52 p.

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

1. Alta produtividade. 2. Exigência nutricional.
3. Acúmulo de nutrientes . 4. Extração de nutrientes.
5. Zea mays L. I. Resende, Álvaro Vilela de, orient.
II. Moreira, Silvino Guimarães, co-orient. III.
Título.

CARINE GREGÓRIO MACHADO SILVA

**ABSORÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM MILHO
TRANSGÊNICO SOB DOIS NÍVEIS DE INVESTIMENTO EM
ADUBAÇÃO**

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, na área de concentração em produção vegetal.

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

Sete Lagoas, 18 de agosto de 2016.
Banca examinadora:

Prof. Dr. Eric Vitor de Oliveira Ferreira

Dr. Emerson Borghi

Prof. Dr. Álvaro Vilela de Resende
Orientador

À minha mãe Rosemeire e ao meu
padrasto Francisco, à minha irmã, sempre
minha melhor amiga, e ao meu noivo Flávio,
ao meu pai Onésimo (*in memoriam*)

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela maravilhosa família que me deu, por me guiar e guardar.

À UFSJ, pela oportunidade de realizar o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, Dr. Álvaro Vilela de Resende, pelos conhecimentos compartilhados, paciência e apoio para realização do projeto.

Ao coorientador, Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira, pela amizade, apoio e confiança.

À Embrapa Milho e Sorgo, pela possibilidade de realização do trabalho e condução do experimento.

Aos funcionários e estagiários do Núcleo de Água, Solo e Sustentabilidade Ambiental da Embrapa Milho e Sorgo, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho em campo.

Aos colegas do Laboratório de Solos da UFSJ.

Aos Professores da UFSJ, Cláudio Vitor, Marcos Fadini, Cidália Gabriela, Bruno Montoani e Samuel Caixeta.

Aos mestres, pelo conhecimento e sabedoria que me foram transmitidos.

Aos amigos da pós-graduação, Aaron Martínez, Priscilla Tavares, Matheus Campos, Gabriela Oliveira, Denize Carvalho e Eduardo Simão, por compartilharem as alegrias e também as horas difíceis que enfrentamos durante o curso.

À minha mãe, meu exemplo de vida, e ao meu padrasto, pelos ensinamentos, amor, confiança, e por tudo que fizeram pra que eu chegasse até aqui. À minha irmã e ao meu noivo, que sempre me cuidaram e participaram ativamente de todas as etapas desta caminhada.

À minha avó, pelas orações, aos tios e tias, por tudo o que são, fizeram e fazem por mim.

A todos os familiares e amigos, que sempre compreenderam minha ausência para que eu pudesse realizar este sonho.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3	MATERIAL E MÉTODOS	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1	Produção de massa seca e produtividade de grãos	21
4.2	Extração e exportação de macronutrientes	24
4.2.1	Nitrogênio	24
4.2.2	Fósforo.....	28
4.2.3	Potássio.....	30
4.2.4	Cálcio.....	31
4.2.5	Magnésio	32
4.2.6	Enxofre	35
4.3	Considerações finais	36
5	CONCLUSÕES.....	38
6	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICE	44

ABSORÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM MILHO TRANSGÊNICO SOB DOIS NÍVEIS DE INVESTIMENTO EM ADUBAÇÃO

RESUMO - Conhecer os padrões de demanda pelos nutrientes durante o ciclo das culturas é de grande importância para subsidiar os programas de adubação. Com o objetivo de estudar a marcha de absorção de macronutrientes por híbridos transgênicos de milho, foi conduzido um experimento em Sete Lagoas-MG, avaliando quatro cultivares comerciais (AG 8088 PRO X, DKB 310 PRO 2, DKB 390 PRO e P 30F53 HY) em ambientes com médio ou alto investimento em adubação. Para cada ambiente, utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Ao longo do ciclo do milho, foram coletadas plantas em dez estádios fenológicos, separando folhas, colmo, palha da espiga, sabugo e grãos, para determinação de massa seca (MS) e dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S. A marcha de absorção foi determinada a partir do cálculo do acúmulo de nutrientes na planta em função dos estádios fenológicos. Realizou-se análise de variância conjunta, a fim de se verificar a existência de interação entre híbridos e ambientes de investimento em adubação. O cultivo de milho em ambiente com alto investimento em adubação resulta em maior produção de massa seca e extração de macronutrientes, sem, necessariamente, alterar a produtividade de grãos. Até o estágio de pendramento, o milho acumula, respectivamente, 73, 69, 100, 57, 72 e 62% da quantidade máxima de N, P, K, Ca, Mg e S extraída durante o ciclo. As quantidades extraídas por tonelada de grãos produzida equivalem a 26, 6, 15, 4, 3, e 2 kg de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S, respectivamente. As quantidades exportadas por tonelada de grãos produzida equivalem a 14; 4; 4; 0,03; 0,8 e 0,9 kg de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S, respectivamente. A obtenção de menores taxas de exportação de P e K em relação a trabalhos anteriores confirma que cultivares mais modernas expressam maior eficiência de uso de nutrientes, justificando a atualização dos indicadores de exigência nutricional para aprimoramento dos critérios de reposição de nutrientes em sistemas de produção envolvendo o milho.

Palavras-chave: Alta produtividade. Exigência nutricional. Acúmulo de nutrientes. Extração de nutrientes. *Zea mays* L.

MACRONUTRIENTS UPTAKE AND EXPORT BY TRANSGENIC MAIZE UNDER TWO LEVELS OF INVESTMENT IN FERTILIZER

ABSTRACT- Knowing the demand patterns for nutrients during the crop cycle is of great importance to subsidize fertilizer programs. In order to study the macronutrients uptake by transgenic maize hybrids, an experiment was carried out in Sete Lagoas - MG, assessing four commercial cultivars (AG 8088 PRO X, DKB 310 PRO 2, DKB 390 PRO and P 30F53 HY) in environments with medium or high investment in fertilizer. For each environment, it was used a randomized block design with four replications. Over the evaluation period, plants were collected in ten phenological stages, separating leaves, stalk, cob straw, cobs and grains, for the determination of dry matter (DM) and contents of N, P, K, Ca, Mg and S. The nutrient uptake was determined from the accumulation in different plant development stages. Maize cultivation in the high investment environment results in higher dry matter production and extraction of macronutrients, without necessarily change the grain yield. By the tassel stage, maize accumulates, respectively, 73, 69, 100, 57, 72 and 62% of the maximum quantity of N, P, K, Ca, Mg and S extracted during the cycle. The extracted quantities of nutrients per ton of grain produced are equal to 26, 6, 15, 4, 3, and 2 kg of N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg and S, respectively. The quantities exported per ton of grain produced is equivalent to 14; 4; 4; 0.03; 0.8 and 0.9 kg of N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg and S, respectively. The lower export rates of P and K compared to previous studies confirm that modern cultivars express a more efficient use of nutrients, justifying the update of nutritional requirement indicators and criteria for nutrient replacement in corn production systems.

Key-words: High yield. Nutritional requirement. Accumulation of nutrients. Nutrient extraction. *Zea mays* L.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de cultivares de milho com alto potencial produtivo cresceu consideravelmente nas médias e grandes propriedades no Brasil. Desde a década de 1970, o País aumentou em cinco vezes sua produtividade média de grãos de milho (CONAB, 2016). Todavia, estudos de projeção de demanda mostram que o Brasil ainda precisa elevar sua produção em mais de 19 milhões de toneladas para garantir o abastecimento do mercado interno e obter excedente de mais 12 milhões de toneladas para exportação até a safra 2019/2020 (MAPA, 2016). Estima-se que até 2020 a produção deverá crescer 2,7 % ao ano e a área plantada somente 0,7 %. Assim, será necessário continuar incrementando os ganhos em produtividade.

O aumento significativo de produtividade de milho foi possível por meio da intensificação do sistema de produção, com a construção da fertilidade do solo, a adoção do sistema plantio direto e a rotação de culturas, a utilização de cultivares modernas, geneticamente modificadas e com alto potencial produtivo, além do uso mais racional e eficiente de fertilizantes e outros insumos, evitando a degradação dos recursos ambientais (FONTES, 2011).

A cada ano, os programas de melhoramento genético de milho lançam no mercado novas cultivares de potencial produtivo cada vez maior. O melhoramento promoveu alterações na arquitetura da planta e aumento da eficiência de aproveitamento de água e nutrientes, permitindo mudanças no seu manejo cultural, como, por exemplo, a diminuição do espaçamento entre linhas e o aumento da densidade de plantas (SÁ et al., 2002, AMARAL FILHO et al., 2005, PORTO et al., 2011).

Atualmente, estima-se que 32 milhões de hectares no Brasil sejam cultivados sob sistema de semeadura direta de culturas anuais (Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha - FEBRAPDP, 2013). Com a adoção desse sistema, há uma melhoria significativa nas condições físicas, biológicas e químicas do solo, permitindo que os híbridos modernos expressem seu potencial produtivo. Um pressuposto básico é que a implantação de sistemas intensivos de produção em áreas de semeadura direta na região do Cerrado deva ocorrer em solos de fertilidade construída e com o devido planejamento da adubação das culturas envolvidas.

Quando se busca o uso eficiente de fertilizantes, é importante entender como ocorre a absorção dos nutrientes em função dos estádios fenológicos ao longo do ciclo da cultura, para que seja possível definir, não só a demanda nutricional a partir da extração total pelas plantas, mas também estratégias de manejo da adubação de acordo com a exigência em cada fase de desenvolvimento do milho (DUARTE et al., 2003). O equilíbrio nutricional e o fornecimento de nutrientes na quantidade e no momento adequados permitem maximizar a expressão do potencial produtivo do híbrido, além de diminuir as perdas no sistema, principalmente tratando-se do nitrogênio (N).

Os padrões gerais de exigência de nutrientes pelo milho cultivado no Brasil foram estabelecidos a partir de uma série de trabalhos de pesquisa, a maioria conduzida há mais de duas décadas (ANDRADE et al., 1975, VASCONCELLOS et al., 1983, COELHO e FRANÇA, 1995, FERREIRA, 2009, VON PINHO et al., 2009). Considerando-se o acúmulo total na parte aérea ou extração, o N e potássio (K) são requeridos em maiores quantidades, e fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em quantidades mais baixas. A maior parte do P absorvido durante o ciclo é translocado para os grãos (até 90 %). Dentre os demais macronutrientes, N, Mg e S também são exportados em maiores quantidades com a colheita dos grãos (75, 58 e 60 %, respectivamente), se comparados ao K (20 %) e ao Ca (3 a 7 %). De maneira geral, a demanda nutricional da cultura aumenta à medida que se registram produtividades mais elevadas (VON PINHO et al., 2009, BENDER et al., 2013).

Apesar de todo o avanço tecnológico constatado na agricultura brasileira, muitos dos dados sobre a nutrição do milho utilizados por técnicos e agricultores estão desatualizados e derivam de experimentação realizada em sistema de preparo convencional do solo e com cultivares antigas, que não estão mais no mercado. Boa parte das informações disponíveis nas tabelas oficiais de recomendação de adubação (RAIJ et al., 1997, ALVES et al., 1999, SOUSA e LOBATO, 2004a) não teve atualizações considerando a obtenção de patamares mais elevados de produtividade e sistemas de cultivo envolvendo diversificação de culturas e plantio direto. Com o avanço no melhoramento genético, incluindo a transgenia, os híbridos têm apresentado potencial produtivo crescente (PORTO et al., 2011, FREITAS et al., 2013, PADILHA et al., 2015). Portanto, é de se esperar que, ao longo do tempo, ocorram mudanças nas quantidades de nutrientes exigidas pelas cultivares de milho (BENDER et al., 2013).

Diante da carência de dados sobre demanda nutricional de novas cultivares de milho no Brasil, os objetivos deste estudo foram: 1) determinar a marcha de absorção de macronutrientes por híbridos transgênicos, em ambientes de cultivo com médio ou alto

investimento em adubação, sob plantio direto no Cerrado; e 2) quantificar as taxas de extração e exportação de macronutrientes nessas condições.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O aumento da produtividade de grãos geralmente requer tecnologias que permitam a intensificação do sistema de produção. Para isso, deve-se adotar a diversificação de culturas, evitando deixar a área em pousio. O sucesso do sistema depende também da adoção de práticas de manejo apropriadas, como o sistema de plantio direto, aliado a adubações equilibradas, além da utilização de cultivares de alto potencial de produção desenvolvidas a partir dos programas de melhoramento genético.

A adoção da semeadura direta em áreas de cultivo de grãos permitiu melhorias no manejo dos solos e aumentou a rentabilidade do sistema, tornando-se, por isso, uma tecnologia atrativa para os produtores. A FEBRAPDP (2013) estima que no Brasil mais de 32 milhões de hectares sejam cultivados nessa modalidade.

Fatores como o sistema de preparo do solo e o manejo adotado podem influenciar na quantidade e eficiência de utilização dos nutrientes absorvidos pelo milho, refletindo na produtividade (FERNANDES et al., 1999, AMADO et al., 2000, LOVATO et al., 2004). O cultivo sob semeadura direta, além de contribuir para a proteção física do solo, reduz a perda de água e mantém o solo úmido por mais tempo, auxiliando na absorção de nutrientes. A decomposição das palhadas permite a liberação gradual dos nutrientes durante o ciclo da cultura subsequente, resultando no aumento da sua disponibilidade para a absorção. Esse efeito foi observado no trabalho de Sá et al. (2011), em que o milho cultivado sobre 10 t ha⁻¹ de palha de aveia preta na superfície do solo apresentou maior extração total de N, P e K no florescimento, chegando a aproximadamente 271, 43, 203 kg ha⁻¹ respectivamente.

A exigência nutricional de uma cultura é determinada pela quantidade de nutrientes extraídos durante o seu ciclo. As quantidades absorvidas podem variar de acordo com a cultivar, com as condições climáticas, com o tipo de manejo e tecnologia empregados e com a disponibilidade de nutrientes no solo (BÜLL, 1993). Para que uma cultivar tenha desenvolvimento ótimo e expresse seu potencial genético de produção, é necessário garantir adequada disponibilidade de nutrientes, de modo a atender às exigências para aquele nível de produtividade.

A extração ou o acúmulo de nutrientes durante o ciclo são obtidos de acordo com as quantidades totais absorvidas, à medida que ocorre o incremento de massa seca na planta. Portanto, a extração total depende do teor do nutriente presente nos tecidos e dos respectivos valores de massa seca. A exportação é a quantidade de nutriente retirada da área com a colheita, seja somente de grãos ou da planta inteira para silagem. Quando a lavoura é

destinada à produção de grãos, a exportação de nutrientes é menor, pois grande parte do que foi absorvido é restituído ao solo por meio dos resíduos da cultura (palhada). Por sua vez, quando a produção é para silagem, a exportação de nutrientes é bastante elevada, pois, além dos grãos, toda a parte vegetativa aérea também é colhida (RITCHIE et al., 2003). A exportação de nutrientes deve ser reposta pela aplicação de fertilizantes, visando manter a fertilidade do solo na área cultivada.

Dados sobre extração de nutrientes, bem como os períodos de maior demanda, fornecem informações importantes aos programas de adubação, possibilitando garantir a disponibilidade dos nutrientes nas épocas mais adequadas, o que evita perdas no sistema e gastos desnecessários com fertilizantes.

Nas décadas de 1970 e 1980, desenvolveram-se diversos trabalhos que quantificaram as exigências nutricionais do milho no Brasil (ANDRADE et al., 1975, FURLANI et al., 1977, VASCONCELOS et al., 1983). Com o avanço constante da pesquisa, as mudanças no manejo cultural e o aumento da tecnologia empregada no campo, as quantidades de nutrientes exigidas tendem a aumentar, principalmente devido aos maiores patamares de produção de biomassa e de produtividade de grãos, conforme evidenciam os trabalhos mais recentes (VON PINHO et al., 2009, BENDER et al., 2013).

O N é um dos elementos mais requeridos pelo milho. A quantidade extraída depende muito da produtividade almejada, sendo que, em geral, quanto maior a expectativa de produtividade, maior deve ser a dose empregada na adubação. Porém, são sempre necessários estudos para melhor definir a dose de máxima resposta do milho à aplicação de N, considerando-se os condicionantes edafoclimáticos e de manejo locais.

O N desempenha papel fundamental na parte estrutural da planta, atua como constituinte de aminoácidos e proteínas, bases nitrogenadas, e participa da síntese de compostos celulares (MALAVOLTA et al., 1997). A deficiência de N induz a redução da síntese de clorofila, interferindo diretamente nos mecanismos de fotossíntese e, conseqüentemente, reduzindo o crescimento vegetal (ANDRADE et al., 2003).

A deficiência de N é caracterizada por clorose gradual das folhas mais velhas e redução do crescimento da planta (SOUZA e FERNANDES, 2006). No milho, as folhas manifestam amarelecimento começando da ponta para a base ao longo da nervura central e, em estágios avançados, a carência do nutriente leva ao secamento das folhas mais velhas e necrose (COELHO e FRANÇA, 1995).

O N é absorvido durante praticamente todo o ciclo do milho, sendo que a maior demanda se dá na fase vegetativa (BÜLL, 1993). Uma vez que o potencial produtivo da

cultura é definido próximo ao estágio vegetativo V3, com três folhas totalmente expandidas (MAGALHÃES e DURÃES, 2006), é de extrema importância que a demanda por N seja garantida desde essa fase inicial.

Dados de extração total de N situam-se entre 216 e 362 kg ha⁻¹ para produtividades entre 10.000 a 14.000 kg ha⁻¹ de grãos, conforme dados relatados por Coelho e França (1995) e Von Pinho et al. (2009). Fancelli e Tsumanuma (2007) indicaram que, para cada tonelada de grãos produzida, a extração é da ordem de 15 a 20 kg de N. Do total absorvido, cerca de 70 a 75 % é translocado para os grãos (VASCONCELLOS et al., 1983, 1998, ROSATTO, 2004).

O milho é bem menos exigente em P do que em N e K. Porém, o P é um dos nutrientes que mais limitam a produtividade e as doses recomendadas na adubação são altas, pois é fortemente adsorvido aos colóides nos solos brasileiros e pode sofrer reações de precipitação, sobretudo em solos com teores elevados de alumínio e ferro (NOVAIS et al., 2007).

O P possui funções estruturais, como constituinte de coenzimas e ácidos nucleicos, e atua na transferência e armazenamento de energia, participando diretamente da fotossíntese e respiração como integrante do NADP e ATP. Participa, portanto, de todos os processos que envolvem gasto de energia, desde a absorção de nutrientes até a formação de órgãos na planta (MALAVOLTA et al., 1997).

A deficiência de fósforo em milho é diagnosticada visualmente por tons roxos nas pontas e margens das folhas mais velhas e no colmo (FERREIRA, 2012). A falta do P pode induzir a deficiência de nitrogênio, principalmente pela redução nas taxas de absorção de nitrato, e a separação espacial desses nutrientes pode causar menor acúmulo de ambos na parte aérea do milho (SILVA et al., 2009).

O P é absorvido até o final do ciclo, sendo que o pico de absorção ocorre na fase reprodutiva, aproximadamente aos 80 dias após a semeadura (ANDRADE et al., 1975, BÜLL, 1993). Do total absorvido, de 80 a 90% são exportados na colheita dos grãos (VASCONCELLOS et al., 1998). Ritchie et al. (2003) indicaram que, para cada tonelada de grãos produzida, são exportados cerca de 9 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Padilha (2014), em trabalho desenvolvido com híbridos cultivados em médio ou alto investimento tecnológico, observou exportação média de 55 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para produtividade de 13 t ha⁻¹ de grãos.

O K é o segundo nutriente de maior exigência pelo milho. Participa direta ou indiretamente de diversos processos bioquímicos e apresenta papel fundamental no vigor das plantas. Tem como principal função o transporte de carboidratos e o controle da abertura e fechamento dos estômatos, contribuindo para a manutenção da água na planta (MALAVOLTA et al., 1997, MEURER, 2006).

A deficiência de K no milho é caracterizada por sintoma de clorose nas folhas mais velhas, começada das bordas para o centro da folha, seguida por necrose (FERREIRA, 2012).

O acúmulo de K na cultura pode se dar por vários picos de absorção, sendo geralmente maior do que o acúmulo de N nos estádios iniciais de desenvolvimento (BORGES, 2006). De acordo com Büll (1993), o K é absorvido com maior intensidade até o florescimento pleno. Na fase reprodutiva, é perdido em grandes quantidades devido à lavagem do K das folhas, chegando ao final do ciclo com cerca de 70 % da quantidade máxima absorvida durante o ciclo. O K lavado retorna ao solo, sendo disponibilizado novamente para absorção das culturas sucessoras.

Para cada tonelada de grãos produzida, são extraídos entre 18 e 30 kg de K_2O (FURLANI et al., 1977, COELHO e FRANÇA, 1995, VON PINHO et al., 2009). Cerca de 18 a 25 % do total do K absorvido durante o ciclo são exportados nos grãos (ROSSATO, 2004), sendo praticamente todo o K restante devolvido ao solo durante a decomposição da palhada.

Os nutrientes Ca, Mg e S são extraídos em pequenas quantidades pelo milho. A demanda por Ca e Mg é praticamente toda suprida por meio da prática de calagem. A necessidade de S pode ser atendida via fornecimento de fertilizantes carreadores de macronutrientes primários e que também são portadores de S (COELHO e FRANÇA, 1995), como sulfato de amônio e o superfosfato simples. Porém, em decorrência da crescente substituição do uso desses fertilizantes por fontes concentradas de N, P e K, atualmente é comum encontrar lavouras com deficiência de S. O seu fornecimento também pode ser feito pelo uso de gesso agrícola ou por adubação específica com S, com aplicação no plantio ou em cobertura.

As principais funções do Ca na planta estão ligadas ao funcionamento e integridade estrutural de membranas e das paredes celulares, além de participar da ativação enzimática (MALAVOLTA et al., 1997). Por ser um nutriente com baixa mobilidade na planta, os sintomas de deficiência de Ca apresentam-se nas folhas novas. No milho, as pontas e nervuras das folhas superiores ficam com aspecto gelatinoso e, em estágios avançados da deficiência, ocorrem necrose e morte da região de crescimento, com redução no porte da planta (FERREIRA, 2012). A deficiência de Ca no perfil de solo limita o crescimento e aprofundamento radicular, fazendo com que as raízes se desenvolvam pouco, ficando somente na camada superficial do solo, o que pode prejudicar também a absorção de outros nutrientes e de água.

O Mg atua como componente estrutural da clorofila. Cerca de 10% do Mg total da folha está ligado a este composto. Altas concentrações de Ca e K podem inibir

competitivamente a absorção de Mg, causando deficiência desse nutriente (VITTI et al., 2006). O sintoma de deficiência de Mg em milho é percebido quando as folhas mais velhas apresentam clorose internerval, além de haver redução no porte da planta (FERREIRA, 2012).

As quantidades de Ca e Mg extraídas durante o ciclo encontram-se nas faixas de 25 a 35 e de 16 a 32 kg ha⁻¹, respectivamente (FURLANI et al., 1977, COELHO e FRANÇA, 1995, VASCONCELOS et al., 1998). Büll (1993) relata que a época de maior acúmulo de Ca e Mg é principalmente durante a fase vegetativa. Por sua vez, Von Pinho et al. (2009) encontraram épocas de grande exigência de Ca no florescimento e na maturidade fisiológica, enquanto o Mg foi requerido em maiores quantidades mais ao final do ciclo.

A exportação de Ca é baixa se comparada à dos demais macronutrientes, pois apenas de 3 a 7 % do total acumulado na planta são direcionados aos grãos (COELHO e RESENDE, 2008). Assim como no caso do K, a maior parte do Ca absorvido retorna ao solo com a decomposição dos restos culturais. Em relação ao Mg, valores de exportação de 47 a 69 % nos grãos foram reportados por Coelho e Resende (2008).

O S é constituinte de aminoácidos, proteínas, vitaminas e coenzimas, sendo absorvido pelas raízes na forma de SO₄²⁻ (MALAVOLTA et al., 1997). Em solos ácidos pode haver adsorção de S em camadas subsuperficiais (RAIJ, 2011), de modo que o aprofundamento radicular permite às plantas acessarem essas reservas do nutriente. Por ser moderadamente móvel na planta, os sintomas de deficiência de S são mais visíveis nas folhas mais novas, com clorose generalizada de aspecto verde limão, podendo evoluir para necrose em pontos diversos da lâmina foliar, além de haver diminuição do porte da planta (FERREIRA, 2012).

São extraídos durante o ciclo de 30 a 42 kg ha⁻¹ de S. Esse nutriente é requerido durante todo o ciclo. Büll (1993) encontrou um período de maior absorção na fase vegetativa, enquanto Von Pinho et al. (2009) encontraram maiores acúmulos já na fase reprodutiva do milho. A exportação de S com a colheita dos grãos é de aproximadamente 60 % do total absorvido (COELHO e RESENDE, 2008).

Em estudo realizado por Bender et al. (2013), no estado norte-americano de Illinois, com milho transgênico resistente a lagartas, avaliando seis cultivares em duas localidades, verificou-se que o acúmulo de massa seca, a produtividade de grãos e a absorção de nutrientes não se diferenciaram entre os locais, mas variaram entre os híbridos. Em média, o acúmulo de massa seca total na maturidade fisiológica foi de aproximadamente 23.200 kg ha⁻¹ e a produtividade de grãos foi 11.700 kg ha⁻¹. Os nutrientes absorvidos em maiores quantidades foram N (266–307 kg ha⁻¹) e K (181–225 kg ha⁻¹), seguido por P (100–133 kg ha⁻¹), Mg (52–66 kg ha⁻¹) e S (24–28 kg ha⁻¹).

A existência de comportamento distinto entre cultivares reforça a conveniência de se conhecer as exigências nutricionais específicas de cada híbrido como forma de aprimorar o dimensionamento das adubações em busca de maior eficiência no uso de fertilizantes. Os híbridos modernos são mais eficientes na conversão de nutrientes absorvidos em biomassa e grãos (SÁ et al., 2002). O seu cultivo em sistemas intensivos já atinge produtividades de grãos e massa seca muito superiores às obtidas décadas atrás no Brasil. Em parte, isso também se deve à utilização de cultivares transgênicas, com resistência a algumas pragas importantes que podem reduzir consideravelmente a produtividade.

O atual cenário da agricultura brasileira conduz à hipótese de que novos híbridos de milho geneticamente modificados e de elevado potencial produtivo, cultivados em sistemas intensivos em plantio direto, podem apresentar padrões de absorção e requerimentos nutricionais diferenciados em relação aos já relatados na literatura. Além disso, é preciso aferir até que ponto a disponibilidade de nutrientes nos ambientes de cultivo ou o aporte extra de fertilizantes influenciam na resposta produtiva e nos níveis de exportação de nutrientes nas colheitas. Tais informações poderão subsidiar ajustes nas recomendações de manejo da adubação para os sistemas de produção envolvendo a cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido durante a safra 2014/2015, em condições de campo, na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG (coordenadas 19°28'30'' S, 44°15'08'' W e 732 m de altitude). O solo foi caracterizado como um Latossolo Vermelho distroférrico muito argiloso (EMBRAPA, 2013). A classificação climática da região de acordo com Köppen é tipo Aw, típico de savana, com inverno seco e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18 °C.

A área experimental vem sendo utilizada em semeadura direta há sete anos, com cultivos principalmente de soja e milho. Em 2012, a área foi dividida em dois ambientes condicionados sob médio ou alto investimento tecnológico em adubação (PADILHA, 2014) e, desde então, vem sendo mantida com adubação diferenciada em cada ambiente (Tabela 1). Na entressafra de 2013, foram semeados milheto + crotalária como plantas de cobertura nos dois ambientes e, na entressafra de 2014, foi cultivado feijão. Em novembro de 2014, previamente à instalação do experimento, foram aplicados a lanço no ambiente de alto investimento 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 80%), 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), visando manter condição de fertilidade do solo mais alta nesse ambiente.

O estudo consistiu no cultivo de quatro híbridos transgênicos de milho nos ambientes com médio e alto investimento em adubação, de forma a se determinar a marcha de absorção de macronutrientes ao longo do ciclo. Os híbridos utilizados foram AG 8088 PRO X, DKB 310 PRO 2, DKB 390 PRO e P 30F53 YH, cujas tecnologias de transgenia e características agronômicas são apresentadas no Apêndice 1 – Tabela 1.

Para cada ambiente, o delineamento experimental foi feito em blocos casualizados com quatro repetições, sendo cada parcela constituída de quatro linhas de 6 m de comprimento, espaçadas 0,5 m entre si. Como área útil, consideraram-se as duas linhas centrais, deixando-se um metro nas extremidades como bordadura. Foram conduzidas parcelas extras de cada tratamento, em cada um dos blocos, para avaliação da produtividade após a maturação fisiológica.

Para o ambiente de alto investimento, utilizou-se no tratamento de sementes 350 mL 100 kg⁻¹ de sementes do inseticida imidacloprido (150 g L⁻¹) + tiodicarbe (450 g L⁻¹), além de 600 mL 100 kg⁻¹ de sementes do fertilizante Biozyme[®]. Para o ambiente de médio investimento, as sementes receberam somente o inseticida. A semeadura foi realizada no dia

Tabela 1. Caracterização dos tratos culturais e adubações nos ambientes de médio e alto investimento, considerando o histórico no período de 2012 a 2014 e o manejo aplicado na safra 2014/2015, relativa ao presente estudo.

Entressafra 2012		Safra 2012/2013		Entressafra 2013		Safra 2013/2014		Entressafra 2014		Safra 2014/2015	
Investimento		Investimento		Investimento		Investimento		Investimento		Investimento	
Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto
..... Cultura											
Pousio	Crotalária e milho consorciados	Milho	Milho	Crotalária e milho consorciados	Crotalária e milho consorciados	Milho	Milho	Feijão	Feijão	Milho	Milho
..... Adubações											
			Semeadura: 500 kg ha ⁻¹ NPK 08-28-16				Semeadura: 450 kg ha ⁻¹ NPK 08-28-16		Cobertura: 200 kg ha ⁻¹ sulfato de amônio		Semeadura: 500 kg ha ⁻¹ NPK 08-28-16 + B
	Adubação corretiva: 100 kg ha ⁻¹ SFS ² 200 kg ha ⁻¹ KCl 429 kg ha ⁻¹ MgO 50 kg ha ⁻¹ FTE BR 10	Semeadura: 260 kg ha ⁻¹ NPK 08-28-16	1 ^a 200 kg ha ⁻¹ ureia (V4) 2 ^a 350 kg ha ⁻¹ NPK 20-0-20 (V5) 3 ^a 200 kg ha ⁻¹ sulfato amônio (V6)			Semeadura: 220 kg ha ⁻¹ NPK 08-28-16	1 ^a 200 kg ha ⁻¹ ureia (V5) 2 ^a 350 kg ha ⁻¹ NPK 20-0-20 (V7) 3 ^a 200 kg ha ⁻¹ sulfato amônio (V9)	Cobertura: 200 kg ha ⁻¹ sulfato de amônio	Após colheita: 2 t ha ⁻¹ calcário dolomítico. 1 t ha ⁻¹ de gesso	Semeadura: 340 kg ha ⁻¹ NPK 08-28-16 + B	1 ^a 200 kg ha ⁻¹ ureia (V4) 2 ^a 350 kg ha ⁻¹ NPK 20-00-20 (V5) 3 ^a 20 kg ha ⁻¹ sulfato amônio (V7)
	Subsolagem a 25 cm de profundidade		Pulverização foliar com Biozyme ² (V5 e V7)				Pulverização foliar com Biozyme ² (V7)		200 kg ha ⁻¹ de KCl + FTE BR 12 (proporção 3:1)		Pulverização foliar com Biozyme ² + MAP ³ + nitrato de cálcio (V7)
..... Produtividade (kg ha ⁻¹)											
		11.967	14.025			8.780	9.945	1.464	1.747		

¹Superfosfato simples. ²Bioestimulante contendo N (1,73 %), K₂O (5 %), S (2,1 %), Fe (0,49 %), Zn (2,43 %), Mn (1,0 %) e B (0,08 %). ³Fosfato monoamônico.

17/12/2014, utilizando semeadora de parcelas, com regulagem para distribuição de 70 mil sementes por hectare (3,5 sementes por metro).

Na adubação de semeadura, foram utilizados 340 e 500 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 08-28-16 + 0,3 % B nos ambientes de médio e alto investimentos, respectivamente. O manejo de médio investimento foi baseado nas indicações de Sousa e Lobato (2004a) para obtenção de produtividades entre 8 e 10 t ha⁻¹ de grãos.

Aos 20 dias após semeadura (DAS), 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 (200 kg ha⁻¹ de ureia). No ambiente de alto investimento, foram realizadas ainda mais duas adubações de cobertura: 70 kg ha⁻¹ de N e de K₂O (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 mais 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 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 do solo nas profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm de profundidade em cada ambiente de cultivo. Utilizou-se trado calador, com o qual foram retiradas seis amostras simples, duas nas linhas e quatro nas entrelinhas do milho, para formar cada amostra composta. Os resultados das análises dos atributos químicos são apresentados na Tabela 2. Os teores de nutrientes P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes encontram-se dentro das classes interpretadas como bom ou muito bom de acordo com Alvarez V. et al. (1999) com exceção do S na camada de 0-20 cm no ambiente de médio investimento que ainda encontrava-se em nível considerado baixo. Quando os níveis de Ca e Mg são adequados, a saturação por bases acima de 50% é considerada satisfatória para o cultivo do milho em solos da região do Cerrado (SOUSA e LOBATO, 2004a, 2004b).

O controle de plantas daninhas foi realizado por dessecação com glifosato (1,8 kg ha⁻¹ de ingrediente ativo) antecedendo a semeadura e aplicação dos herbicidas tembotriona (101 g ha⁻¹) e atrazine (1,5 L ha⁻¹ de ingrediente ativo) quando o milho apresentava-se no estágio V4. Para nivelar o controle de lagartas, foram realizadas aplicações dos inseticidas lufenurom (15 g ha⁻¹) e flubendiamida (72 g ha⁻¹) por meio de pulverizador costal com jato dirigido, nos estádios V5 e V6, respectivamente.

As condições climáticas foram favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura (Figura 1). As médias de temperaturas mínima (13 °C) e máxima (37 °C) durante a condução do experimento encontram-se dentro da faixa de tolerância para a cultura, entre 10 e 40 °C

(SANGOI et al., 2010), sendo que a maior parte da condução do experimento se deu sob temperaturas adequadas para o milho, entre 25 e 30 °C. A precipitação pluvial também foi favorável à cultura, com um total 529 mm de chuva recebidos até a fase de florescimento (estádios VT/R1), contando ainda com irrigação complementar em ambos os ambientes quando necessário.

Tabela 2. Condições de fertilidade do solo nos ambientes com médio e alto investimento em adubação, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 20 dias após a semeadura do milho (estádio V4). Sete Lagoas-MG, safra 2014/2015.

Atributos	Investimento			
	Médio	Alto	Médio	Alto
	Prof. 0-20 cm		Prof. 20-40 cm	
M.O (dag kg ⁻¹)	4,1	3,9	3,3	3,3
pH em água	6,1	6,0	6,1	6,1
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0	0	0	0
H+Al (cmol _c cm ⁻³)	5,6	6,8	5,5	6,9
P Mechlich ⁻¹ (mg dm ⁻³)	14	22	2	5
K ⁺ (mg dm ⁻³)	54	159	17	70
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	6,2	5,7	4,7	4,1
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,0	1,2	0,8	0,9
S.B (cmol _c dm ⁻³)	7,3	7,3	5,6	5,1
CTC (cmol _c dm ⁻³)	13	14	11	12
Saturação por Base (%)	57	52	50	42
Saturação por Al (%)	0	0	0	0
S (mg kg ⁻¹)	4	15	10	21
B (mg dm ⁻³)	1,1	1,8	0,9	1,3
Cu (mg dm ⁻³)	0,9	0,5	0,9	0,6
Fe (mg dm ⁻³)	28	18,5	31	19
Mn (mg dm ³)	54	9,2	33	6,9
Zn (mg dm ⁻³)	3,4	3,8	1,0	1,5

Análise granulométrica: areia = 130 g kg⁻¹; silte = 210 g kg⁻¹; e argila = 660 g kg⁻¹.

Para a determinação da marcha de absorção dos nutrientes, foram realizadas dez amostragens ao longo do ciclo, de duas plantas representativas na área útil das parcelas, nos seguintes estádios fenológicos definidos de acordo com Ritchie et al. (2003): V4, V5, V7, V9, V12, VT (pendoamento), R1 (florescimento pleno), R2, R5 e R6 (maturação fisiológica). Esses estádios fenológicos corresponderam, respectivamente, a 20, 26, 33, 40, 49, 57, 64, 71, 104, 131 dias após a semeadura.

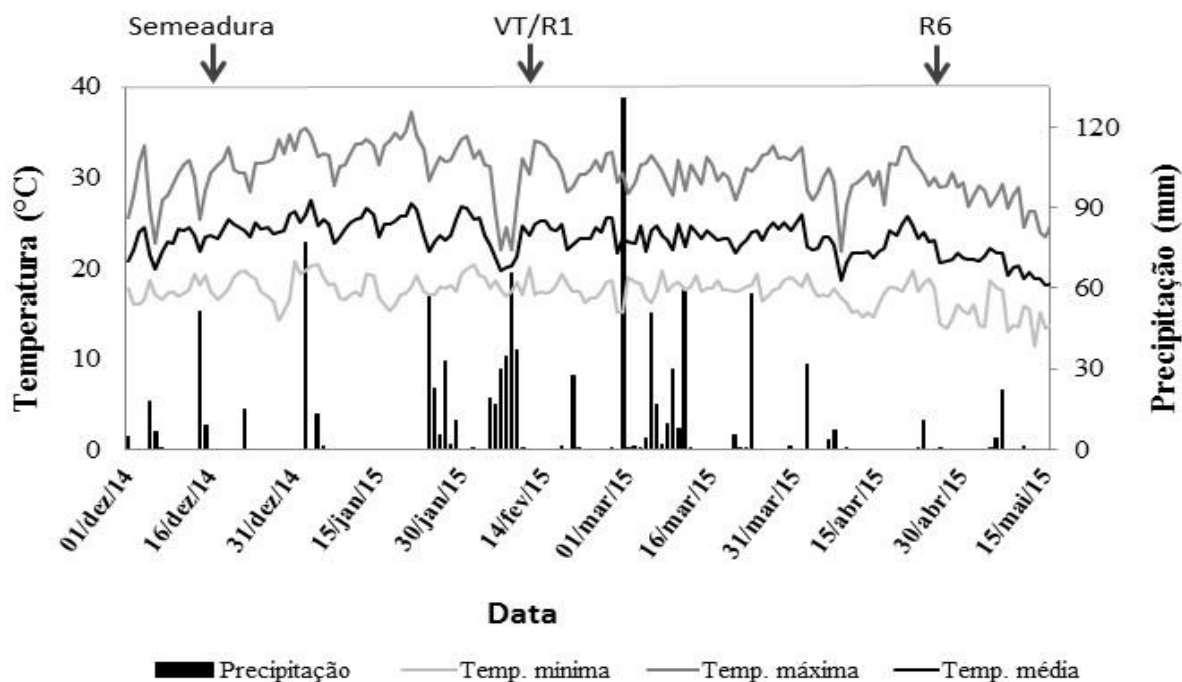


Figura 1. Temperaturas média, mínima e máxima, e precipitação pluvial no período de condução do experimento. Dados obtidos na estação climatológica da Embrapa Milho e Sorgo.

As coletas foram realizadas quando a parcela apresentava-se com 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 a primeira planta remanescente na área útil, a qual representou uma bordadura interna. As plantas foram cortadas rente ao solo e separadas em folhas e colmo nos estádios V7, V9, V12 e VT. A partir do florescimento, R1 e R2 as plantas foram separadas em folhas, colmo, palha da espiga e espiga (sabugo). Em R5 e R6 separaram-se folhas, colmos, palha da espiga, sabugo e grãos. As amostras das diferentes partes da planta foram secas em estufa a 65 °C e pesadas para quantificação da massa seca (MS), sendo em seguida trituradas e enviadas ao laboratório para a determinações dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S, segundo metodologias descritas em Silva (2009).

O acúmulo de nutrientes pelo milho nos diferentes estádios fenológicos foi calculado multiplicando-se o teor obtido nas análises em laboratório pela respectiva MS 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. Conversões de P para P_2O_5 e de K para K_2O foram feitas multiplicando-se os dados de acúmulo pelos fatores 2,29 e 1,20, respectivamente.

A produtividade de grãos foi avaliada após a maturação fisiológica (30/04/2015), com a colheita da área útil das parcelas conduzidas para essa finalidade. A produtividade corrigida

para 13% de umidade foi utilizada para calcular o acúmulo de nutrientes nos grãos, correspondendo ao potencial de exportação com a colheita.

Os dados experimentais obtidos em cada estágio fenológico avaliado 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 quanto à produção de MS total ao final do ciclo e à produtividade de grãos, com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Os dados de MS e de acúmulo de macronutrientes foram plotados em gráficos em função dos estádios fenológicos, de modo a representar a acumulação de MS e a marcha de absorção dos nutrientes ao longo do ciclo do milho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de massa seca e produtividade de grãos

Houve diferenças significativas entre os ambientes quanto ao acúmulo de massa seca total da parte aérea nos estádios V5, R2 e na maturação fisiológica (R6), e entre híbridos, em V5 e R1 a R6 (Apêndice II- Tabela 1). Em todos os estádios nos quais houve efeito de ambientes, aquele com maior investimento em adubação condicionou maior produção de MS pelo milho.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados de produção de massa seca total da parte aérea e de produtividade de grãos pelos híbridos nos dois ambientes de cultivo. Na média dos híbridos, a MS total (MS parte aérea + grãos) na maturação fisiológica, produzida nos ambientes com níveis diferenciados de adubação, foi de 24.159 e 27.095 kg ha⁻¹ sob médio e alto investimento, respectivamente. A partir do florescimento (estádio R1), consolidaram-se as diferenças entre os híbridos estudados, com o DKB 310 produzindo significativamente mais MS total do que os demais em todas as épocas a partir de R2, alcançando 32.059 kg ha⁻¹ na maturação fisiológica. Dentre os materiais avaliados, o DKB 310 é o único com ciclo de desenvolvimento normal, o que pode ter favorecido a maior produção de MS.

Tabela 3. Produção de massa seca total (kg ha⁻¹) na maturidade fisiológica e produtividade de grãos (kg ha⁻¹) do milho em função de híbridos e ambientes de investimento em adubação. Sete Lagoas-MG, 2015.

Híbridos	Massa seca			Produtividade de grãos		
	Investimento		Média por híbrido	Investimento		Média por híbrido
	Médio	Alto		Médio	Alto	
AG 8088 PRO X	22.756	24.352	23.555 b	10.727	10.840	10.784 b
DKB 310 PRO 2	29.971	34.148	32.059 a	12.446	13.993	13.219 a
DKB 390 PRO	22.810	24.047	23.429 b	11.009	10.577	10.793 b
P 30F53 YH	21.098	25.833	23.465 b	8.794	9.805	9.299 c
Média por ambiente	24.159 B	27.095 A		10.744 A	11.304 A	
CV (%)		8,69			7,34	
Média geral		25.627			11.024	

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

O acúmulo de MS ao longo do ciclo do milho cultivado sob médio e alto investimentos em adubação é representado na Figura 2. Na média dos quatro híbridos, a produção de MS total superou a variação de 10.950 a 18.650 kg ha⁻¹ relatada em trabalhos

anteriores desenvolvidos no Brasil com milho convencional (COELHO e FRANÇA, 1995, DUARTE et al. 2003), e ficou próxima dos valores de 21.649 a 24.707 kg ha⁻¹ obtidos mais recentemente por Bender et al. (2013) ao avaliarem cultivares transgênicas nos EUA.

A produção de MS de folhas e colmos foi crescente até o pendoamento (VT), tendendo a se estabilizar posteriormente, dando lugar aos ganhos de MS de espigas (palha + sabugo) e de grãos ao longo da fase reprodutiva (Figura 2).

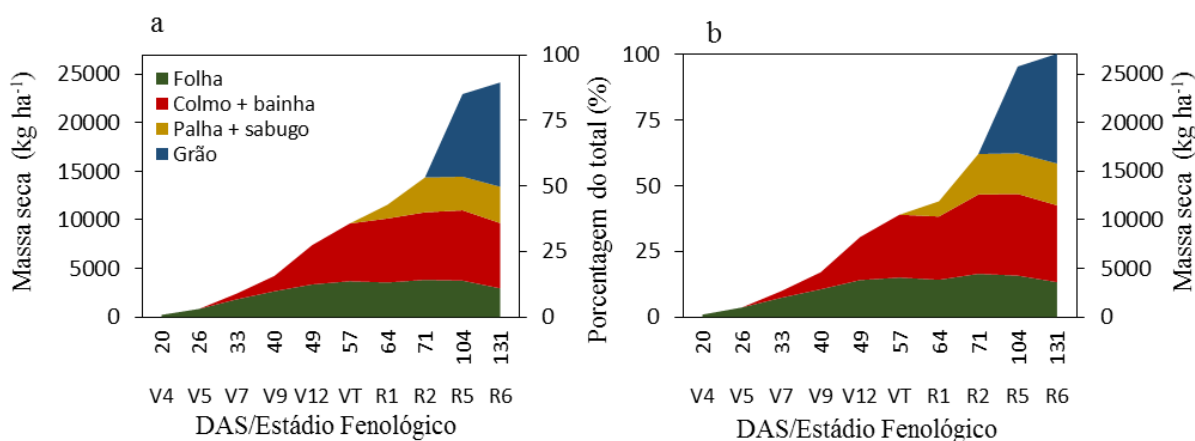


Figura 2. Acúmulo de massa seca em diferentes compartimentos da planta, ao longo do ciclo do milho cultivado em ambientes com médio (a) e alto (b) investimento em adubação. Média dos quatro híbridos avaliados. Sete Lagoas-MG, 2015.

O impacto do maior investimento em adubação foi proporcionalmente distribuído na planta como incremento na MS de colmo (17% a mais em relação ao médio investimento), folhas (16%) e de palha + sabugo (16%) na avaliação realizada em R2 (Tabela 4). Já na maturação fisiológica (R6), os maiores ganhos com o alto investimento foram associados à MS de folhas, provavelmente porque, havendo menor pressão de dreno dos fotoassimilados para os grãos, as folhas dos híbridos cultivados nesse ambiente mantiveram-se verdes por um tempo maior, conforme constatado visualmente, ocorrendo menor perda de folhas baixas.

Segundo Bender et al. (2013), historicamente a melhoria na produtividade de grãos de milho tem acompanhado o aumento na capacidade de produção de massa seca e esse potencial de acumulação de biomassa constitui a força de indução para a absorção e a assimilação de nutrientes pela cultura. Contudo, o presente estudo não confirmou plenamente essa premissa, pois, embora o cultivo sob maior nível de adubação tenha promovido acréscimo significativo na MS total acumulada, a produtividade de grãos foi estatisticamente igual entre os ambientes (Tabela 3). Não obstante, observando o desempenho individual dos híbridos, percebe-se que o

comportamento do DKB310 segue a referida premissa, visto que sua maior produção de MS correspondeu a uma produtividade de grãos mais elevada.

Tabela 4. Massa seca (kg ha^{-1}) de compartimentos da planta em diferentes estádios fenológicos do milho cultivado em ambientes com médio e alto investimento em adubação. Sete Lagoas-MG, 2015.

Compartimento	Estádio Fenológico					
	VT		R2		R6	
	Investimento		Investimento		Investimento	
	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto
Folha	3692a	4057 a (10) ¹	3828 b	4439 a (16)	2958 b	3579 a (21)
Colmo + BAINHA	5937a	6463 a (9)	6958 b	8161 a (17)	6718 b	7911 a (18)
Palha + sabugo			3584 a	4166 a (16)	3739 b	4301 a (15)
Grão					10744 a	11304 a (5)

Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. ¹Valores entre parêntesis correspondem às porcentagens de incremento de MS devido ao cultivo sob maior investimento em adubação.

A maior produção de MS pelos híbridos no ambiente de alto investimento, em longo prazo, deve trazer benefícios ao sistema, pois a maior quantidade de palhada deixada na área diminui evaporação de água, além de aumentar os estoques de nutrientes em ciclagem.

A eficiência de conversão de MS em grãos foi maior no ambiente de médio investimento, com uma produção de 0,44 kg de grãos por kg de MS total acumulada, enquanto no alto investimento esse índice foi de 0,40 kg kg^{-1} . Calculando a eficiência de cada um dos híbridos, o AG 8088 (0,47 e 0,44 kg kg^{-1} em médio e alto investimento, respectivamente) e o DKB 390 (0,48 e 0,43 kg kg^{-1} em médio e alto investimento, respectivamente) tiveram desempenho superior aos demais. Todavia, esses índices de conversão estão abaixo dos encontrados por Bender et al. (2013), que verificaram uma média de 0,52 kg kg^{-1} para híbridos transgênicos nos EUA.

Apesar de não haver diferenças de produtividade de grãos entre os dois ambientes, ocorreu, entretanto, variação estatisticamente significativa entre os híbridos na seguinte sequência: DKB 310 > DKB 390 = AG 8088 > P 30F53 (Tabela 3). As produtividades do presente estudo estão acima das observadas em outras pesquisas com materiais transgênicos no Brasil. Alves et al. (2014) trabalhando com híbridos transgênicos no Rio Grande do Sul, obtiveram média de 6.690 kg ha^{-1} , adotando-se uma população de 62,5 mil plantas e adubação de base com 37,5 kg ha^{-1} de N, 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 150 kg ha^{-1} de K_2O , mais 200 kg ha^{-1} de N em adubações de cobertura. No Cerrado do Mato Grosso do Sul, a maior produtividade alcançada por Kappes et al. (2013) com o híbrido DKB 350 YG foi de 8.295 kg ha^{-1} de grãos,

ao utilizarem crotalária e milho + crotalária como cultivos antecessores, associados à aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura no milho.

4.2 Extração e exportação de macronutrientes

Os efeitos de híbridos ou de ambientes de investimento em adubação se expressaram de forma estatisticamente significativa sobre a absorção de macronutrientes pelo milho em vários dos estádios fenológicos avaliados, sendo, entretanto, pouco frequente a ocorrência de interação desses fatores (Apêndice II - Tabelas 2 e 3).

4.2.1 Nitrogênio

O efeito dos ambientes sobre a absorção de N ocorreu em V5 e foi nítido a partir do estágio V12 até a maturação fisiológica (Apêndice II - Tabela 2). As plantas cultivadas com maior aporte de nutrientes acumularam quantidades superiores de N (Tabela 5). Isso decorre principalmente das adubações adicionais de cobertura nitrogenada realizadas no ambiente de alto investimento nos estádios V5 e V7, o que não ocorreu na condição de médio investimento.

O N é constituinte de proteínas e interfere diretamente no processo fotossintético (ANDRADE et al., 2003), de modo que uma maior oferta do nutriente resulta no aumento da taxa de fotossíntese, levando à maior acumulação de biomassa (Tabelas 3 e 4). Esse ganho de biomassa, por sua vez, estimula a absorção radicular (BENDER et al., 2013), havendo, conseqüentemente, um efeito incremental no processo de acúmulo de N pelas plantas cultivadas no ambiente de alto investimento em adubação.

Entre os híbridos, as principais diferenças de extração de N foram constatadas a partir do pendoamento (Apêndice II - Tabela 2). Destaca-se o DKB 310 pela alta capacidade de acúmulo do nutriente durante a fase reprodutiva, atingindo 358 kg ha⁻¹ na maturação fisiológica (Tabela 6). Esse híbrido absorveu quantidade bem maior de N do que os demais, em decorrência do seu melhor desempenho em produção de MS (Tabela 3), pois as concentrações do nutriente nos diferentes compartimentos da planta nesse híbrido são semelhantes ou, em alguns casos, inferiores às obtidas com outras cultivares (Apêndice III - Tabela 1).

Até o pendoamento, o milho expressou em média 73% da máxima extração de N, correspondendo a 180 e 246 kg ha⁻¹, nos ambientes de médio e alto investimento, respectivamente (Tabela 5). Em ambos os casos, a absorção foi crescente até o final do ciclo,

atingindo o máximo na maturidade fisiológica (Figura 3a). Em trabalho desenvolvido no Rio Grande do Sul, Acosta (2009) reporta que, num Argissolo Vermelho Distrófico, a obtenção de produtividades de milho superiores a 9.000 kg ha⁻¹ foi possível com um acúmulo de 150 kg ha⁻¹ de N até o pendoamento, quando cultivado em sucessão à ervilhaca.

A quantidade de N que o milho necessita absorver varia de acordo com a faixa de rendimento da cultura (FONTOURA e BAYER, 2009). Conforme esses autores, para rendimentos entre 8 e 10 t ha⁻¹, o milho cultivado sob plantio direto no Paraná e no Rio Grande do Sul absorveu, em média, 105 kg ha⁻¹ de N e, para a faixa de rendimentos entre 10 e 12 t ha⁻¹, a absorção chegou a cerca de 185 kg ha⁻¹. No presente estudo, tanto no milho cultivado em médio quanto em alto investimento em adubação, a absorção de N foi de magnitude superior (Tabela 5).

Até V9, a porcentagem média de N absorvida em relação ao total foi menor sob alto investimento (47%) em comparação ao ambiente de médio investimento (57%), evidenciando capacidade de absorção mais tardia de N pelas cultivares em estudo quando há maior abundância de suprimento do nutriente. Von Pinho et al. (2009) encontraram pequenos acúmulos de N nos estádios iniciais de desenvolvimento, aumentando significativamente a partir de V8, com acúmulo acentuado ocorrendo em fases próximas ao florescimento. Büll (1993), revisando dados de outros trabalhos, aponta a exigência máxima de N aos 60 dias após a emergência, próximo à época de pendoamento.

O acúmulo de N nas folhas e no colmo foi crescente até próximo ao florescimento (Figura 3a). A partir de então, houve decréscimo do conteúdo nesses compartimentos, sendo o nutriente translocado para a espiga e palha. Até o final do ciclo, pouco mais de 50% do N na planta foram alocados para os grãos, padrão um pouco abaixo do observado por Bender et al. (2013), que, ao avaliarem híbridos transgênicos, mostraram que cerca de 64% do N foram mobilizados para os grãos. De todo modo, esses índices são inferiores aos relatados em literaturas clássicas do Brasil, como os trabalhos de Vasconcellos et al. (1998) e Coelho e França (1995), que apresentaram proporção de N nos grãos entre 65 e 75% do total extraído pela cultura.

Tabela 5. Equivalentes de acúmulo de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S (kg ha⁻¹), ao longo do ciclo do milho cultivado em ambientes com médio e alto investimento em adubação. Média dos quatro híbridos avaliados. Sete Lagoas-MG, 2015.

Estádio Fenológico	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		Ca		Mg		S	
	Investimento		Investimento		Investimento		Investimento		Investimento		Investimento	
	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto
V4	10,9 a	12,4 a	5,8 a	3,2 a	24,7 a	15,4 b	2,1 a	0,9 b	1,6 b	0,7 a	1,4 a	1,0 b
V5	38,9 b	47,8 a	8,8 a	10,1 a	39,0 b	51,9 a	4,1 a	3,6 a	3,1 a	2,6 b	2,4 b	3,4 a
V7	93,6 a	105,1 a	18,1 a	20,1 a	81,8 b	120,9 a	12,4 a	10,8 b	10,5 a	7,6 b	5,0 b	6,2 a
V9	140,6 a	158,7 a	25,4 a	25,9 a	127,4 b	216,8 a	23,5 a	19,2 b	20,6 a	14,1 b	7,3 b	8,4 a
V12	166,6 b	231,2 a	34,9 b	41,9 a	142,1 b	312,5 a	32,6 a	31,3 a	29,8 a	24,9 b	9,2 b	12,6 a
VT	180,4 b	246,2 a	41,8 b	47,3 a	174,9 b	357,8 a	33,2 a	31,9 a	32,7 a	26,3 b	11,1 b	13,9 a
R1	199,6 b	247,7 a	42,6 b	47,4 a	146,4 b	350,6 a	36,7 a	32,0 a	33,7 a	26,6 b	12,4 b	15,6 a
R2	211,7 b	312,9 a	50,5 b	64,7 a	147,2 b	354,8 a	43,9 a	43,9 a	37,4 a	34,3 a	13,7 b	19,2 a
R5	237,9 b	323,2 a	60,3 b	66,1 a	110,1 b	256,6 a	57,8 a	55,8 a	41,4 a	39,9 a	18,7 b	22,6 a
R6	245,5 b	337,7 a	59,2 a	67,9 a	109,5 b	214,8 a	48,3 a	50,4 a	36,3 a	37,2 a	17,6 b	22,9 a

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

Tabela 6. Equivalentes de acúmulo de N, P₂O₅ e K₂O (kg ha⁻¹) por híbridos transgênicos de milho em diferentes estádios fenológicos a partir do pendoamento. Média dos dois ambientes. Sete Lagoas-MG, 2015.

Estádio fenológico	N				P ₂ O ₅				K ₂ O			
	AG 8088	DKB310	DKB390	P 30F53	AG 8088	DKB310	DKB390	P 30F53	AG 8088	DKB310	DKB390	P 30F53
VT	187,6 b	239,4 a	204,8 b	221,3 b	38,6 a	47,3 a	40,8 a	51,4 a	238,8 a	291,4 a	260,2 a	275,0 a
R1	215,1 b	258,0 a	201,7 b	219,8 b	42,4 a	48,4 a	39,3 a	49,8 a	233,4 a	289,5 a	227,3 a	243,8 a
R2	230,1 b	309,2 a	242,4 b	267,6 b	49,9 b	64,9 a	52,7 b	63,1 a	205,1 b	294,7 a	239,4 a	264,9 b
R5	241,0 b	344,4 a	277,0 b	259,8b	52,3 c	75,7 a	62,7 b	61,9 b	159,2 b	220,4 a	178,0 b	175,6 b
R6	256,9 b	357,9 a	280,1 b	271,3 b	52,7 a	74,8 a	63,1 a	63,6 a	130,5 b	190,1 a	146,1 b	181,8 a

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

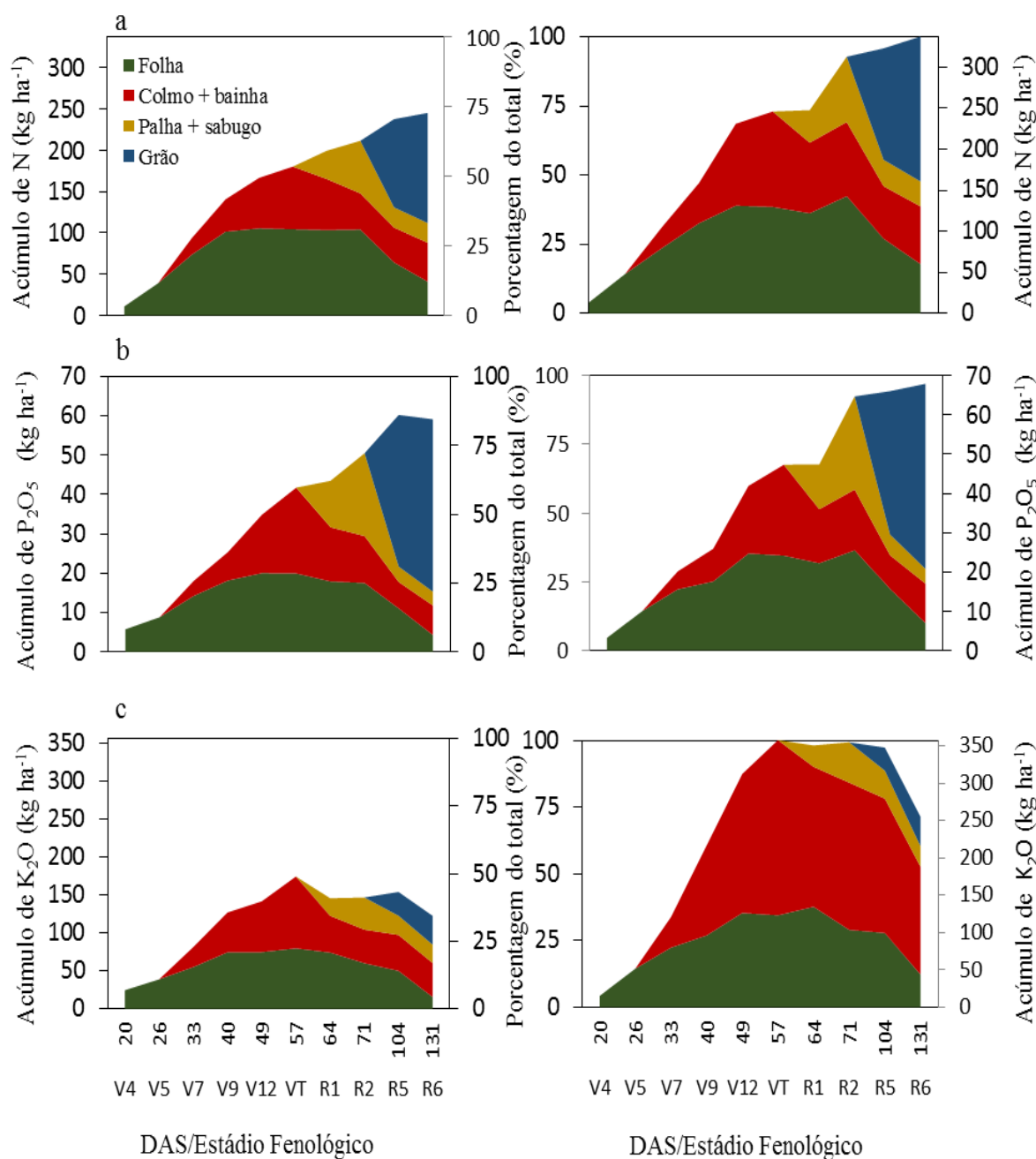


Figura 3. Equivalentes de acúmulo de N (a), P₂O₅ (b) e K₂O (c) em diferentes compartimentos da planta, ao longo do ciclo do milho cultivado em ambientes com médio (esquerda) e alto investimento (direita) em adubação. Média dos quatro híbridos avaliados. Sete Lagoas-MG, 2015.

As quantidades de N exportadas com a colheita dos grãos são apresentadas na Tabela 7. Em média, o milho cultivado no ambiente de alto investimento exportou mais N, aproximadamente 177 kg ha⁻¹, enquanto no médio investimento a quantidade foi de 134 kg ha⁻¹. Em termos percentuais, esses valores correspondem, respectivamente, a 52 e 54% do total extraído pela cultura. Para cada tonelada de grãos produzida, o milho absorveu, em média, 22,8 e 29,9 kg e exportou 12,4 e 15,6 kg de N nos ambientes de médio e alto investimento em adubação, respectivamente. Portanto, considerando que as produtividades nos dois ambientes

foram similares (Tabela 3), percebe-se que os híbridos estudados apresentam grande capacidade de aproveitamento do N suprido na adubação, sem necessariamente converter o absorvido em ganho proporcional no rendimento de grãos. Configurou-se, assim, um consumo de luxo no cultivo sob alto investimento em adubação. Essas informações são importantes, pois realçam a conveniência de se conhecer o potencial de resposta dos híbridos em cada local e condição de cultivo, a fim de obter subsídios para otimizar o dimensionamento da quantidade de fertilizante nitrogenado, visando maior rentabilidade da cultura e menor risco de contaminação ambiental.

Tabela 7. Equivalentes de exportação de N, P₂O₅ e K₂O (kg ha⁻¹) nos grãos de híbridos transgênicos de milho cultivados em ambientes com médio e alto investimento em adubação. Sete Lagoas-MG, 2015.

Híbrido	N		Média por híbrido	P ₂ O ₅		Média por híbrido	K ₂ O		Média por híbrido
	Investimento tecnológico			Investimento tecnológico			Investimento tecnológico		
	Médio	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto			
AG 8088 PRO X	132,1	162,8	147,5 b	39,3	41,7	40,5 a	33,2	35,9	34,5 b
DKB 310 PRO 2	154,3	219,0	186,7 a	47,7	54,9	51,3 a	44,3	48,3	46,3 a
DKB 390 PRO	140,3	169,8	155,1 b	44,9	48,5	46,7 a	37,3	39,3	38,3 b
P 30F53 YH	107,3	156,0	131,6 b	43,4	43,4	43,4 a	37,7	34,5	36,1 b
Média por ambiente	133,5 B (54) ¹	176,9 A (52)		43,8 A (74)	47,1 A (69)		38,1 A (35)	38,3A (18)	
CV (%)	15,5			22,6			17,5		

Para cada nutriente, médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ¹Valores entre parênteses correspondem às porcentagens exportadas nos grãos.

4.2.2 Fósforo

O acúmulo de P nas plantas de milho variou significativamente entre os ambientes a partir do estágio V12 até R5 (Apêndice II- Tabela 2), sendo as diferenças mais acentuadas na fase reprodutiva, chegando a um incremento médio de 28% na absorção sob alto investimento em adubação, conforme avaliação realizada no estágio R2 (Tabela 5). O híbrido DKB 310 acumulou maiores quantidades de P em R5, correspondendo a 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Contudo, na maturidade fisiológica, os híbridos não expressaram diferenças (Tabela 6).

Até o pendoamento, as plantas alcançaram, em média, 69% da máxima extração de P durante o ciclo (Figura 3b), ocorrendo absorção de forma contínua e intensa até os estádios finais de desenvolvimento. Os acúmulos máximos ocorreram, respectivamente, em R5 e R6 nos ambientes de médio e alto investimento em adubação.

Como observado por Von Pinho et al. (2009), a época de maior demanda por P ocorre justamente nos estádios reprodutivos. Esses autores também detectaram que o pico de absorção de P ocorreu aos 125 dias após a emergência (estádio R5). Esse comportamento é explicado pela participação do P em compostos que transferem energia para a transformação do açúcar em amido no interior da planta (VILAR C. e VILAR F., 2013), estando, portanto, grande parte do requerimento do nutriente atrelado à formação dos grãos.

Os acúmulos totais equivalentes em P_2O_5 na maturidade fisiológica, 59 e 68 $kg\ ha^{-1}$ respectivamente nos ambientes de médio e alto investimento (Tabela 5), são superiores aos apurados para cultivares mais antigas, como no trabalho de Vasconcellos et al. (1983), em que se observaram acúmulos entre 34 e 54 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , com produtividades próximas de 6.000 $kg\ ha^{-1}$ de grãos. Porém, os valores ora obtidos encontram-se bem abaixo dos apresentados por trabalho recente desenvolvido por Bender et al. (2013), que encontraram acúmulo total de 114 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , pelo milho cultivado em um solo muito argiloso com disponibilidade de 53 $mg\ kg^{-1}$ de P, com produtividade média de 12.000 $kg\ ha^{-1}$, próxima das produtividades encontradas neste trabalho.

A partir de R2, as quantidades equivalentes de P_2O_5 nas partes vegetativas e também na palha da espiga caíram consideravelmente, sendo alocados nos grãos 74 e 69% do total contido nas plantas cultivadas nos ambientes de médio e alto investimento, respectivamente (Figura 3b). Esses resultados revelam uma tendência de melhor eficiência de uso de P pelos híbridos mais modernos, uma vez que trabalhos anteriores e com produtividades menores que as obtidas no presente estudo indicaram translocação de 80 a 90% do P para os grãos (VASCONCELLOS et al., 1983, COELHO e FRANÇA, 1995). Dessa maneira, as cultivares mais novas exportam menores proporções do nutriente.

As quantidades equivalentes de P_2O_5 exportadas em ambos os ambientes (Tabela 7) são bastante inferiores à descrita por Bender et al. (2013), que na média de seis cultivares determinaram uma exportação de 7,5 kg de P_2O_5 por tonelada de grãos produzida no estado americano de Illinois. No presente estudo, essa relação foi de 4,1 e 4,2 kg de P_2O_5 por tonelada de grãos produzida nos ambientes de médio e alto investimento, respectivamente. Esses valores são substancialmente menores do que os compilados de publicações brasileiras mais antigas por Resende et al. (2012), o que confirma ganhos de eficiência na utilização de P

com os avanços do melhoramento genético e do manejo de sistemas de produção da cultura no País.

4.2.3 Potássio

A quantidade equivalente de K_2O acumulada pelos híbridos foi estatisticamente diferente entre os ambientes em todas as épocas avaliadas (Apêndice II - Tabela 2). O milho cultivado no ambiente de médio investimento acumulou mais K somente na primeira época avaliada (V4). O maior acúmulo a partir de V5 nas plantas cultivadas sob alto investimento se deveu à oferta adicional do nutriente nas adubações para esse ambiente (Tabela 2), sendo a maior parte estocada nos colmos (Figura 3c).

Entre os híbridos avaliados, observou-se diferença significativa no acúmulo de K principalmente nos estádios reprodutivos, a partir de R2 até o final do ciclo. Os híbridos DKB 310 e P 30F53 acumularam maiores quantidades equivalentes de K_2O na maturação fisiológica (Tabela 6). Em parte, esse resultado é devido às características morfológicas desses materiais. O DKB 310 produziu MS total em quantidade muito superior aos demais (Tabela 3), inclusive, quando se considera apenas o compartimento colmo, a diferença chega a mais de 1.000 kg ha^{-1} de MS. Esse híbrido também caracterizou-se pelo diâmetro do colmo superior ao dos demais (Apêndice IV – Tabela 1).

Em V9, as plantas haviam absorvido mais de 60% do total de K extraído durante todo o ciclo, sendo que o máximo acúmulo ocorreu no pendoamento (VT), aos 57 dias após semeadura, tanto no ambiente de médio quanto no de alto investimento (Tabela 5, Figura 3c). Karlen et al. (1988), em um experimento desenvolvido nos Estados Unidos, também encontraram o acúmulo máximo de K em VT. Por sua vez, Von Pinho et al. (2009) mostraram o acúmulo máximo no estágio final de desenvolvimento, R6.

Independente do ambiente de cultivo, houve forte decréscimo no K estocado na planta após o estágio R2 até o final do ciclo (R6), quando restaram cerca de 60% do máximo que havia sido absorvido (Tabela 5). Essa redução se deve, sobretudo, à lavagem do nutriente pela água da chuva ou de irrigação nas fases mais adiantadas de desenvolvimento do milho, uma vez que o potássio não faz parte de compostos estruturais da planta, sendo facilmente removido dos tecidos (SILVA e RITCHEY, 1982; COSTA et al. 2009). Nos trabalhos revisados por Büll (1993), as plantas de milho chegaram a apresentar, no final do ciclo, praticamente a metade da quantidade máxima acumulada anteriormente. Rossato (2004), em

avaliação do milho cultivado após a aveia em Latossolo Vermelho distrófico de Fortaleza dos Valos-RS, também detectou decréscimo no conteúdo de K após o florescimento.

Na maturação fisiológica (R6), o conteúdo médio nos grãos (Tabela 7) representou 35 e 18% do total de K presente naquele momento nas plantas de milho nos ambientes de médio e alto investimento em adubação, respectivamente. A porcentagem de translocação para os grãos nas plantas cultivadas sob médio investimento foi mais elevada em relação aos índices de 18 a 25% reportados para a cultura por outros autores no Brasil (COELHO e FRANÇA, 1995, ROSSATO, 2004). Essa constatação indica que, possivelmente, o suprimento de K naquele ambiente tenha ficado abaixo do ótimo fisiologicamente requerido para maior vigor dos híbridos utilizados.

No pendoamento (VT), o milho chegou a acumular o equivalente a 16,3 e 31,7 kg de K_2O para cada tonelada de grãos produzida em médio e alto investimento, respectivamente. Na avaliação realizada ao final do ciclo (R6), esses números ficaram em 10,2 e 19,0 kg. Todavia, a maior absorção de K ocorrida no ambiente mais adubado não teve direcionamento proporcional para os grãos, visto que a exportação correspondeu a 3,5 e 3,4 kg de K_2O por tonelada de grãos colhida sob médio e alto investimento, respectivamente.

Vale notar que essas taxas de exportação refletem uma tendência de decréscimo, comparativamente aos valores apontados em estudos anteriores e compilados por Resende et al. (2012). À semelhança da observação já feita em relação ao P, a menor concentração de K nos grãos dos híbridos avaliados é indicativa de que o processo de desenvolvimento de novas cultivares tem privilegiado a eficiência de uso de nutrientes na cultura do milho.

Constata-se, por fim, um contraste entre os padrões de nutrição nitrogenada e potássica do milho, pois, embora a extração de ambos os nutrientes tenha aumentado com o incremento da oferta no ambiente de maior investimento tecnológico, a exportação de N apresentou correspondente acréscimo, o que não se verificou para o K. Dessa maneira, confirma-se que o reforço na adubação promove enriquecimento dos grãos com N, sendo indiferente no caso do K.

4.2.4 Cálcio

A absorção de Ca pelo milho foi estatisticamente diferente entre os ambientes somente nos estádios iniciais de desenvolvimento V4, V7 e V9 (Apêndice II – Tabela 3), quando houve maior acúmulo no ambiente com médio investimento em adubação (Tabela 5), o que está coerente com a disponibilidade um pouco mais elevada do nutriente no solo desse

ambiente (Tabela 2). Essa aparente restrição da absorção no ambiente de alto investimento pode ter sido induzida pela disponibilidade mais elevada de K no solo, intensificada pela adubação potássica em cobertura em V5, provocando inibição competitiva entre esses cátions (MALAVOLTA et al., 1997), com algum prejuízo para a aquisição de Ca pelas plantas até o estágio V9.

Observaram-se diferenças no acúmulo de Ca entre os híbridos nas avaliações realizadas após o pendoamento. O DKB 310 acumulou quantidades significativamente maiores na maturidade fisiológica, chegando a 60 kg ha⁻¹ (Tabela 8), o que se deveu principalmente à elevada capacidade de produção de biomassa desse híbrido (Tabela 3).

No pendoamento, cerca de 57% do total de Ca já haviam sido acumulados pelo milho, atingindo 100% em R5 (Figura 4a). A extração máxima média ficou próxima de 57 kg ha⁻¹ (Tabela 5), correspondendo a cerca de 5,2 kg para cada tonelada de grãos produzida.

Observa-se, na Figura 4a, que a estocagem de Ca ocorreu principalmente nas folhas (mais de 50%), e nos colmos. A translocação desse nutriente para as partes reprodutivas é mínima na cultura do milho, representando apenas de 3 a 10% do total absorvido (COELHO e FRANÇA, 1995, VASCONCELLOS et al., 1998). Por isso, os teores na palha das espigas e nos grãos são pouco perceptíveis nas análises desses componentes da planta. Por consequência, a exportação de Ca na colheita dos grãos também ocorre em quantidade muito pequena. No presente estudo, menos de 1% foi redistribuído para os grãos, determinando-se uma exportação média da ordem de 0,3 kg ha⁻¹ (Tabela 9).

4.2.5 Magnésio

O acúmulo de Mg foi maior no ambiente de médio investimento até as plantas atingirem o florescimento (R1) e, após esse estágio, não foram mais detectadas diferenças entre ambientes (Apêndice II – Tabela 3). Assim como para o Ca, porém de forma mais intensa, a absorção de Mg também parece ter sido influenciada pela elevada disponibilidade de K no solo decorrente do manejo da adubação no ambiente de alto investimento (Tabelas 1 e 2). Dependendo das proporções presentes no solo, a interação entre esses cátions pode resultar em inibição competitiva daquele mais abundante sobre a absorção dos outros pelas plantas (MALAVOLTA et al., 1997). Entretanto, esses efeitos da interação K-Ca e K-Mg foram passageiros, desaparecendo com o avanço do ciclo do milho e, ao que tudo indica, não tiveram impacto negativo no conteúdo final de Ca e Mg (Tabela 5), bem como na produtividade de grãos.

Tabela 8. Acúmulo de Ca, Mg e S (kg ha⁻¹) por híbridos transgênicos de milho em diferentes estádios fenológicos a partir do pendoamento. Média dos dois ambientes. Sete Lagoas-MG, 2015.

Estádio fenológico	Ca				Mg				S			
	AG 8088	DKB 310	DKB 390	P 30F53	AG 8088	DKB 310	DKB 390	P 30F53	AG 8088	DKB 310	DKB 390	P 30F53
VT	26,4b	34,3a	30,1b	39,4a	22,9b	33,1a	30,1a	32,1b	10,3b	14,3a	11,9b	13,7a
R1	30,8b	36,7a	30,1b	39,7a	26,8b	35,0a	28,5b	30,2b	13,4b	15,7a	12,3b	14,6b
R2	38,5b	48,9a	38,8b	49,3a	29,4a	43,4a	33,5a	37,0a	14,4b	19,4a	14,8b	17,1a
R5	51,1b	68,1a	50,7b	57,1b	33,1b	52,6a	39,8b	37,1b	18,0b	25,7a	19,3b	19,6b
R6	43,4b	60,0a	43,5b	50,5b	29,3b	47,8a	35,6b	34,2b	17,8b	25,4a	18,2b	19,6b

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

Tabela 9. Exportação de Ca, Mg e S (kg ha⁻¹) nos grãos de híbridos transgênicos de milho cultivados em ambientes com médio e alto investimento em adubação. Sete Lagoas-MG, 2015.

Híbrido	Ca			Mg			S		
	Investimento tecnológico		Média por híbrido	Investimento tecnológico		Média por híbrido	Investimento tecnológico		Média por híbrido
	Médio	Alto		Médio	Alto		Médio	Alto	
AG 8088 PRO X	0,27	0,32	0,29 a	7,27	8,23	7,75 b	8,25	10,11	9,18 b
DKB 310 PRO 2	0,28	0,35	0,32 a	9,49	11,30	10,40 a	10,21	13,30	11,75 a
DKB 390 PRO	0,39	0,41	0,40 a	8,87	9,28	9,08 a	8,84	10,10	9,47 b
P 30F53 YH	0,27	0,17	0,22 a	7,29	8,40	7,84 b	8,40	9,42	8,91 b
Média por ambiente	0,30 A (0,6) ¹	0,31 A (0,6)		8,23 A (23)	9,30 A (25)		8,93 B (51)	10,73 A (47)	
CV (%)	52,6			19,9			17,5		

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

¹Valores entre parênteses correspondem às porcentagens exportadas nos grãos.

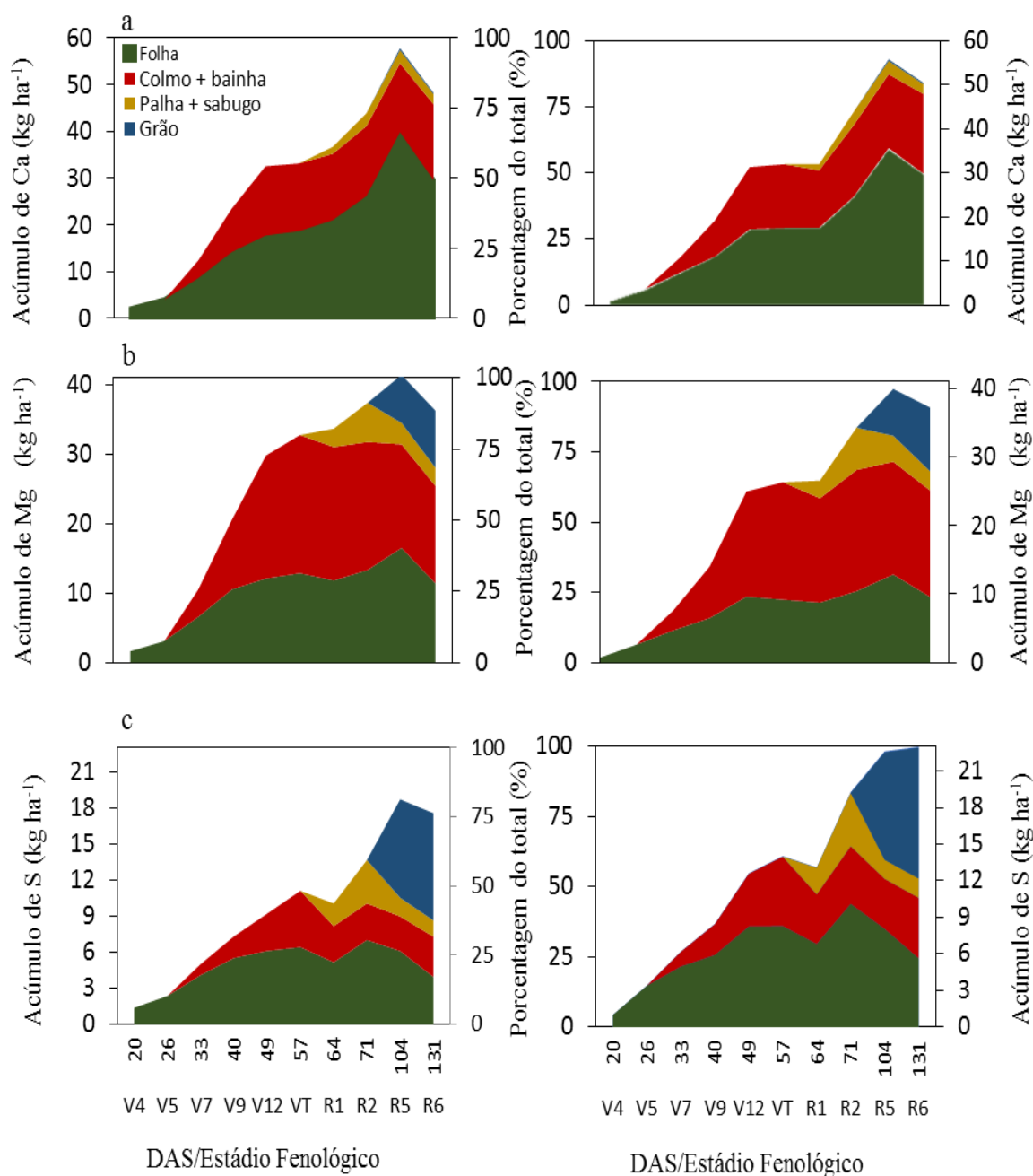


Figura 4. Acúmulo de Ca (a), Mg (b) e S (c) em diferentes compartimentos da planta, ao longo do ciclo do milho cultivado em ambientes com médio (esquerda) e alto investimento (direita) em adubação. Média dos quatro híbridos avaliados. Sete Lagoas-MG, 2015.

Na fase reprodutiva, os híbridos avaliados se diferenciaram quanto ao acúmulo de Mg (Apêndice II – Tabela 3). O híbrido DKB 310 destacou-se por apresentar maior extração do que os demais (Tabela 8), o que certamente está ligado à sua elevada capacidade de produção de biomassa (Tabela 3).

Até o estágio de pendramento (VT), as plantas de milho absorveram, em média, 79% do total de Mg extraído durante o ciclo no ambiente de médio investimento em adubação, e

66% sob alto investimento, atingindo acúmulo máximo em R5 (aos 104 dias após a semeadura) em ambos os ambientes (Figura 4b). Comportamento similar foi observado por Von Pinho et al. (2009) na região de Lavras-MG. Já Bender et al. (2013) identificaram acúmulo máximo de Mg antes do florescimento nos EUA, enquanto Duarte et al. (2003) verificaram maior acúmulo por cultivares de clima tropical aos 75 dias após a emergência em trabalho conduzido em Palmital- SP. Apesar de alguma variação de comportamento do milho em diferentes condições de estudo, percebe-se que a maior parte da absorção de Mg se dá na fase anterior ao florescimento, evidenciando a importância de se garantir o suprimento adequado desse nutriente, principalmente a partir dos estádios iniciais até o início da fase reprodutiva.

Na média dos quatro híbridos avaliados, do total de Mg absorvido, cerca de 30% foram direcionados para os grãos (Figura 4b). Essa proporção encontra-se abaixo das reportadas por outros autores, entre 36 e 69% (VASCONCELLOS et al., 1983, COELHO e FRANÇA 1995, COELHO e RESENDE, 2008). A exportação média de Mg pelos híbridos ficou entre 8,2 e 9,3 kg ha⁻¹ entre os ambientes de cultivo com médio e alto investimento, respectivamente (Tabela 9). Com base nos dados obtidos na maturidade fisiológica (R6), para cada tonelada de grãos produzida, o milho extraiu em torno de 3,3 kg e exportou 0,8 kg de Mg.

4.2.6 Enxofre

Observou-se diferença significativa entre os ambientes para o acúmulo de S (Apêndice II – Tabela 3), que foi maior no cultivo com alto investimento em adubação para todas as avaliações realizadas a partir de V5 (Tabela 5). A absorção foi favorecida pela maior quantidade de S presente no solo (Tabela 2), devido, principalmente, à aplicação de gesso antes da instalação do experimento, mas também em função da utilização de sulfato de amônio na terceira adubação nitrogenada em cobertura naquela condição de manejo (Tabela 1).

Houve diferenças significativas na acumulação de S entre os híbridos a partir do florescimento, novamente sobressaindo-se o DKB 310, que apresentou maior extração na maturação fisiológica (Tabela 8).

O acúmulo máximo de S ocorreu nos estádios R5-R6, sendo que até o pendoamento, em média, 62% do total extraído durante todo o ciclo já tinham sido absorvidos pelas plantas.

Os grãos acumularam 51% do S contido nas plantas cultivadas com médio investimento e 47% naquelas com alto investimento em adubação (Figura 4c), mesmo padrão observado por Karlen et al. (1988) e Bender et al. (2013).

A exportação de S nos grãos foi significativamente mais elevada no ambiente de alto investimento em adubação, com remoção do nutriente em quantidade 20% superior à observada sob médio investimento (Tabela 9). Todavia, apesar do contrastante aporte de S entre os ambientes (Tabelas 1 e 2), as respostas do milho ponderadas pela produtividade tenderam a ficar niveladas, com a extração variando de 1,6 a 2,0 kg e a exportação de 0,8 a 0,9 kg para cada tonelada de grãos produzida. Esses valores estão abaixo dos intervalos mencionados por Sousa e Lobato (2004a), de 2,5 a 4,0 kg extraídos e de 1 a 2 kg exportados pela cultura.

4.3 Considerações finais

Os padrões de extração ao longo do ciclo e de exportação de macronutrientes pelos híbridos estudados, em comparação com os reportados em trabalhos desenvolvidos anteriormente, foram semelhantes em alguns aspectos, diferindo em outros. Foram identificadas variações nas quantidades absorvidas em função do nível de suprimento nos ambientes de cultivo e do híbrido em questão, sem, entretanto, se detectar interação entre esses fatores.

De modo geral, o ambiente com maior aporte de nutrientes na adubação propiciou incremento na extração, mas sem haver proporcional ganho de produtividade do milho, o que atesta a grande aptidão das cultivares modernas em incrementar a absorção em condições de melhor disponibilidade, embora nem sempre haja vantagem em rendimento de grãos.

O híbrido DKB 310 apresentou destacada capacidade de produção de massa seca da parte aérea e de grãos. Em razão disso, os seus níveis de extração e exportação de nutrientes foram normalmente superiores em relação aos demais híbridos. Aspectos que podem ter condicionado tal comportamento seriam o maior potencial de acumulação de biomassa, induzindo demanda extra e estimulando a absorção de nutrientes, associado à tendência de maior responsividade do DKB 310 a níveis mais elevados de adubação.

Em situações que favoreçam maior potencial produtivo e, conseqüentemente, maior requerimento nutricional da cultura do milho (ex.: cultivos irrigados), é importante observar que o manejo para fornecimento de N, P, Ca, Mg e S deve garantir seu suprimento ao longo

de todo o ciclo, já que foi observada expressiva absorção desses nutrientes durante a fase reprodutiva, cessando apenas próximo ou na maturidade fisiológica (Tabela 5). Esse fato sugere, inclusive, a possibilidade de resposta a adubações mais tardias, como pulverizações foliares, por exemplo. O K foi o único nutriente que apresentou comportamento distinto, atingindo a máxima extração ainda no estágio de pendoamento.

O decréscimo observado nas taxas de exportação de nutrientes, como P, K e S, em cada tonelada de milho colhida, equivalendo a menores concentrações desses nutrientes nos grãos, é indicativo da tendência de os híbridos mais modernos apresentarem maior eficiência nutricional. Isso reforça a ideia de que a evolução das cultivares lançadas pelos programas de melhoramento genético ao longo do tempo conduz a ganhos de eficiência no uso de nutrientes. Também ressalta a importância de se atualizarem os dados de exigências nutricionais, de forma a possibilitar aprimoramentos nas recomendações e práticas de manejo da adubação da cultura.

5 CONCLUSÕES

O cultivo de milho em ambiente com alto investimento em adubação resulta em maior produção de massa seca e extração de macronutrientes, sem, necessariamente, alterar a produtividade de grãos.

O híbrido DKB 310 PRO 2 apresenta maior capacidade de produção de biomassa e de grãos, acumulando e exportando nutrientes de forma mais intensa.

Em média, até o estágio de pendoamento, o milho acumula, respectivamente, 73, 69, 100, 57, 72 e 62% da quantidade máxima de N, P, K, Ca, Mg e S extraída durante o ciclo.

O pico de extração de K se dá no estágio de pendoamento, ocorrendo posteriormente redução de 40% do conteúdo nas plantas até a maturidade fisiológica.

Há expressiva absorção de N, P, Ca, Mg e S durante a fase reprodutiva, indicando possibilidade de resposta ao fornecimento tardio desses nutrientes em sistemas de alta produtividade.

Em média, ao final do ciclo, as quantidades de nutrientes extraídas equivalem a 292, 64, 162, 49, 37 e 20 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S, correspondendo, respectivamente, a 26, 6, 15, 4, 3, e 2 kg por tonelada de grãos produzida.

Em média, os híbridos exportam o equivalente a 155, 45, 38, 0,3, 9 e 10 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg e S, correspondendo, respectivamente, a 14; 4; 4; 0,03; 0,8 e 0,9 kg por tonelada de grãos produzida.

A obtenção de menores taxas de exportação de P e K em relação a trabalhos anteriores confirma que cultivares mais modernas expressam maior eficiência de uso de nutrientes, justificando a atualização dos indicadores de exigência nutricional, para aprimoramento dos critérios de reposição de nutrientes em sistemas de produção envolvendo o milho.

6 REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. A. A. **Dinâmica do nitrogênio sob sistema plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada no milho**. 2009. 200p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS.
- ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; QUEIROZ, D.S.;SALGADO, L.T.; CECON, P.R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Ciência e Agrotecnologia**, p.1643-1651, 2003.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In Ribeiro, A. C., GUIMARAES, P. T., ALVAREZ V., V. H. (eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5^o Aproximação**. Viçosa: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E.; FRANÇA, G.E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J.M.; VIEIRA, J.R.; LOUREIRO, J.E. Milho. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. (eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5^a Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.
- ALVES, B. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BURIN, C.; TOEBE, M.; SILVA, L. P. S. Divergência genética de milho transgênico em relação à produtividade de grãos e à qualidade nutricional. **Ciência Rural**, Santa Maria, Online. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140471>. 2014.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.24, p.179-189, 2000.
- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D., FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,v.29, n.3, 467-473, 2005.
- ANDRADE, A. G.; HAAG, H. P.; DE OLIVEIRA, G. D.; SARRUGE, J. R. 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**, 1975. v.32, p.115-149.
- 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.
- BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em cultivares de milho**. 2006. 115p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: Bull, L. T., Cantarella, H (eds.). **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.

COELHO, A.M.; RESENDE A.V. de R. **Exigências nutricionais e adubação do milho safrinha**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 111).

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, **Séries históricas**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcm_sconteudos . Acesso em: Fev. 2016.

COSTA, S.E.V.G.A., SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; ANDRIGUETTI, M.H. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1291-1301, 2009.

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, p.1-20, 2003.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

FANCELLI, A. L; TSUMANUMA, G. M. nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In SILVIA, T. Y.; ABDALLA, R. S.; VITTI, G. C. (eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute – Brasil. 2007. p.445-482.

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação disponível em: http://febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf. Acesso em:02/05/2016

FERNANDES, L. A.; VASCONCELLOS, C. A.; FURTINI NETO, A. E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. D. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.9, p.1691-1698, 1999.

FERREIRA, C. F. **Diagnose nutricional de cultivares de milho (*Zea mays* L.) de diferentes níveis tecnológicos**. 2009 . 114p. Dissertação (Mestrado) Universidade federal do Paraná. Curitiba.

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

FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@mbiente** On-line, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

FONTES, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas, avaliação e diagnose**. 2011. 296p. (Universidade Federal de Viçosa).

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p.1721-1732, 2009.

FREITAS, R. S.; DUARTE, A. P.; DA LUZ LEÃO, P. C.; KASAI, F.; CAZENTINI FILHO, G.; TICELII, M.; VITOR, L. G. Produtividade de grãos em cultivares de milho transgênicas na região no norte/oeste do estado de São Paulo em 2011/12 e 2012/13. **Nucleus**, v.10, n.3, 2013.

FURLANI, P. R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C.; SILVA, W. J. Acúmulo de macronutrientes, de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. **Bragantia**, v.36, n.1, p.223-229, 1977.

KARLEN, D. L.; FLANNERY, R. A.; SADLER, E. J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, v.80, n.2, p.232-242, 1988.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1310-1321, 2013.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Edição. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.
LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 76).

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.

MAPA- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO, **Culturas-Milho**. Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>> Acesso em: Fev. 2016.

MEURER, E. J. Potássio. In FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.215-252, Viçosa, 2006, 432p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. **Fósforo**. In NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L. (eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

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.

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**, v.14, n.2, p. 207-218, 2015.

PORTO, A. P. F.; VIANA, A. E.; DE ALMEIDA, M. R. Variedades de milho a diferentes espaçamentos no Planalto de Vitória da Conquista-BA. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.2, 2011.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba, 2011.

RESENDE, A. V. de; COELHO, A. M.; SANTOS, F. C. dos; LACERDA, J. J. de J. **Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para alta produtividade de milho no Brasil Central**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012, 12p. (Circular Técnica, 181)

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações agronômicas**, Potafós, v.103, p.1-19, 2003.

ROSSATO, R. R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto**. 2004. 130p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS.

SÁ, M.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA SOBRINHO, F. D. Aspectos morfológicos e fisiológicos de cultivares modernas e antigas de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, p.1082-1091, 2002.

SÁ, J. C. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; VIEIRA, A. M.; FIGUEIREDO, A. G. Extração de nutrientes e produtividade de genótipos de milho afetados por níveis de palha. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 33, n. 4, p. 715-722, 2011.

SANGOI, L.; SILVA, P. D.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010. 87p.

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A. e ESPINAL, F. S. C. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 44, n.2. p.118-127, 2009.

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).

SILVA, J.E.; RITCHEY, K.D. Acumulação diferencial de potássio em oxissolos devido a lavagem do nutriente das plantas de milho para o solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.6, n.1, p.83-188, 1982.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In FERNANDES, M.S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira Ciência de Solo, p.215-252, Viçosa, 2006, 432p.

SOUZA, D. D.; LOBATO, E. Calagem e adubação para cultura anuais e semiperenes. In: SOUSA, D. D.; LOBATO, E. (eds.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2004a. p.283-313.

SOUZA, D. D.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. D.; LOBATO, E. (eds.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2004b. p.81-96.

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

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.

VILAR, C. C.; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 37 - 44, 2013.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Calcio, Magnésio e enxofre. In FERNANDES, M. S. (ed.) **Nutrição Mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira Ciência de Solo, p.298-325, Viçosa, 2006, 432p.

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

APÊNDICE

Apêndice I – Características dos híbridos avaliados.

Tabela 1. Tecnologias de transgenia e características agronômicas dos híbridos utilizados.

Híbrido	Tecnologia de transgenia ¹	Características agronômicas ²
Ag 8088 PRO X	Resistente a lagarta do cartucho, lagarta da espiga, lagarta elasmó e broca do colmo. Tolerância ao Glifosato e ao Glufosinato. Proteínas: Cry1A.105, Cry2Ab2 e Cry1F	Ciclo: Precoce Indicada para produção de grãos e silagem de alto valor energético
DKB 310 PRO 2	Resistente a lagarta do cartucho, lagarta da espiga e broca do colmo. Tolerante ao glifosato. Proteínas: Cry1A.105 e Cry2Ab2	Ciclo: Normal Qualidade de colmo. Alto peso de grãos.
DKB 390 PRO	Resistente a lagarta do cartucho, lagarta da espiga e broca do colmo. Proteínas: Cry1A.105 e Cry2Ab2	Ciclo: Precoce Alto potencial produtivo. Boa adaptação ao verão e safrinha.
P 30F53 YH	Proteínas: Cry1Ab e Cry1F	Ciclo: Precoce Elevado potencial produtivo. Qualidade de grãos.

^{1 e 2} Informações das empresas fornecedoras de sementes.

Apêndice II - Resumos das análises de variância.

Tabela 1. Significância da análise de variância para a produção de massa seca total avaliada em diferentes estádios fenológicos do milho, e para a produtividade de grãos ao final do ciclo. Sete Lagoas-MG, 2015.

	FV	GL	Massa Seca									Produtividade
			Estádio fenológico/Dias Após a Semeadura									
			V4/20	V5/26	V7/33	V9/40	V12/49	VT/57	R1/64	R2/71	R5/104	
Ambiente-A	1	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	ns
Repetição(A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Híbrido-H	3	ns	**	ns	ns	ns	ns	*	**	**	**	**
A x H	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		18,1	15,2	19,1	17,3	18,4	13,7	13,9	16,5	7,0	8,7	7,3

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

Tabela 2. Significância da análise de variância para o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho. Sete Lagoas-MG, 2015.

	FV	GL	Estádio fenológico/ Dias Após a Semeadura									
			V4/20	V5/26	V7/33	V9/40	V12/49	VT/57	R1/64	R2/71	R5/104	R6/131
Nitrogênio	Ambiente-A	1	ns	**	ns	ns	**	**	**	**	**	**
	Repetição (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbrido-H	3	ns	**	ns	ns	ns	*	*	*	**	**
	A x H	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)		18,2	15,0	19,7	18,5	21,3	15,2	15,2	19,3	11,2	15,0
Fósforo	Ambiente-A	1	ns	Ns	ns	ns	*	*	**	**	**	ns
	Repetição (A)	6	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbrido-H	3	ns	**	ns	ns	ns	**	*	**	**	ns
	A x H	3	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)		19,0	18,7	20,9	21,5	20,4	16,7	17,5	17,7	10,9	23,2
Potássio	Ambiente-A	1	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Repetição (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbrido-H	3	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**
	A x H	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	*
	CV (%)		15,6	21,2	22,9	16,9	19,5	19,1	20,4	14,7	13,2	14,6

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

Tabela 3. Significância da análise de variância para o acúmulo de cálcio, magnésio e enxofre em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho. Sete Lagoas-MG, 2015.

		Estádio fenológico/ Dias Após a Semeadura										
FV		GL	V4/20	V5/26	V7/33	V9/40	V12/49	VT/57	R1/64	R2/71	R5/104	R6/131
Cálcio	Ambiente-A	1	**	ns	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Repetição (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbrido-H	3	ns	**	ns	ns	ns	**	**	**	**	**
	A x H	3	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)		25,3	20,1	16,9	18,6	24,2	21,4	14,4	16,9	12,1	14,1
Magnésio	Ambiente-A	1	**	*	**	**	*	**	*	ns	ns	ns
	Repetição (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbrido-H	3	ns	*	*	ns	ns	**	**	*	**	**
	A x H	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)		22,3	20,2	17,2	22,5	22,8	19,6	19,6	22,2	17,1	18,7
Enxofre	Ambiente-A	1	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Repetição (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Híbrido-H	3	*	**	ns	ns	*	**	**	**	**	**
	A x H	3	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)		20,8	22,4	19,9	18,5	20,7	17,5	14,7	17,9	11,3	15,4

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

Apêndice III – Concentração de nitrogênio nos tecidos.

Tabela 1. Concentração de nitrogênio (g kg^{-1}) nos compartimentos da planta de híbridos transgênicos no florescimento (estádio R1) em ambientes com médio e alto investimento em adubação. Sete Lagoas-MG, 2015

Híbrido	Folhas baixas ¹			Folhas do alto ²			Colmo			Espiga ³			Palha ⁴		
	Investimento		Média por híbrido	Investimento		Média por híbrido	Investimento		Média por híbrido	Investimento		Média por híbrido	Investimento		Média por híbrido
	Médio	Alto		Médio	Alto		Médio	Alto		Médio	Alto		Médio	Alto	
Ag 8088	2,6	2,8	2,7 b	2,9	3,3	3,1 b	0,9	1,2	1,0 b	3,5	3,3	3,4 b	2,1	2,0	2,0 a
DKB 310	2,3	2,6	2,5 b	2,9	3,1	3,0 a	1,0	1,4	1,2 b	3,9	4,0	4,0 a	2,4	2,4	2,4 a
DKB 390	2,5	3,1	2,8 a	3,1	3,3	3,2 a	0,9	1,4	1,2 a	3,6	3,6	3,6 b	2,1	2,1	2,1 a
P30F53	2,7	3,1	2,9 a	3,2	3,5	3,3 b	0,9	1,4	1,1 a	3,8	3,8	3,8 a	1,8	2,4	2,1 a
Média por ambiente	2,9 A	2,5 B		3,3 A	3,0 B		1,3 A	0,9 B		3,7 A	3,7 A		2,2 A	2,1 A	
CV %	10,4			5,8			5,2			9,4			17,5		

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

¹Folhas do terço inferior da planta. ²Folhas do terço médio + folhas do terço superior. ³Sabugo com grãos na densidade “bolha d’água”. ⁴Palha das espigas.

Apêndice IV – Diâmetro do colmo.

Tabela 1. Diâmetro do colmo (cm) de híbridos transgênicos de milho cultivados em ambientes com médio e alto investimento em adubação. Sete Lagoas-MG, 2015.

Híbrido	Estádio R2			Estádio R5			Estádio R6		
	Investimento		Média por híbrido	Investimento		Média por híbrido	Investimento		Média por híbrido
	Médio	Alto		Médio	Alto		Médio	Alto	
Ag 8088	2,4	2,8	2,6 b	2,4	2,7	2,5 b	1,8	1,8	1,8 a
DKB 310	2,7	3,0	2,8 a	2,9	3,0	2,9 a	1,5	1,6	1,5 c
DKB 390	2,6	2,7	2,6 b	2,6	2,9	2,8 a	1,6	1,8	1,7 b
P30F53	2,5	2,4	2,5 b	2,3	2,5	2,4 b	1,7	1,8	1,8 a
Média por ambiente	2,6	2,7		2,5	2,8		1,6	1,7	
CV %		7,19			6,04			3,75	