

MARCA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES E ACÚMULO DE MATÉRIA SECA EM MILHO

RENZO GARCIA VON PINHO¹, IRAN DIAS BORGES², JOSÉ LUIZ DE ANDRADE REZENDE PEREIRA³ e MATHEUS COSTA DOS REIS⁴

¹Engenheiro agrônomo, DSc., professor do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), CEP 37200-000, caixa postal. 3037, renzo@ufla.br

²Engenheiro agrônomo, DSc., professor do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), CEP 39440-000, caixa postal. 91, Iran.borges@unimontes.br

³Engenheiro agrônomo, M.Sc., doutorando do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), CEP 37200-000, caixa postal. 3037, jlarpufla@hotmail.com.br

⁴Engenheiro agrônomo, DSc., Pós-doutorando do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), CEP 37200-000, caixa postal. 3037, matheusreis@yahoo.com.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.8, n.2, p. 157-173, 2009

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo determinar a marcha de absorção de macronutrientes e o acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea de plantas de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura, utilizando-se um híbrido com alto potencial de produtividade de grãos (P 30F33) e outro com alto potencial de produtividade de MS (GNZ 2004). Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo os dois híbridos dispostos nas parcelas principais e, nas subparcelas, as épocas de coleta das plantas, considerando os estádios fenológicos da cultura. As cultivares de milho acumulam MS e os seguintes nutrientes, em ordem decrescente: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco e cobre até próximo à maturidade fisiológica, quando são obtidos os acúmulos máximos. Os nutrientes são acumulados na parte aérea do milho, em ordem decrescente: N, K, P, Ca, Mg e S. As quantidades totais de nutrientes, em quilogramas, necessárias para produzir uma tonelada de grãos de milho foram: 22,3 e 27,7 kg de N; 5,3 e 5,8 kg de P; 21,3 e 23,2 kg de K; 3,6 e 3,9 kg de Ca; 2,4 e 3,5 kg de Mg; 1,3 e 1,9 kg de S, respectivamente, para os híbridos P 30F33 e GNZ 2004. O máximo acúmulo de MS das folhas e das palhas de milho foi obtido no estágio fenológico 6, e no colmo, sabugos e grãos, ocorreu nos estádios 9 e 10 de desenvolvimento da cultura.

Palavras-chaves: *Zea mays*, acúmulo de nutrientes, milho híbrido, adubação.

MACRONUTRIENTS ABSORPTION AND DRY MATTER ACCUMULATION IN MAIZE

ABSTRACT - This work aimed to evaluate dry matter (DM) and nutrient accumulation in the aerial parts of corn plants as a function of the phenological stages of plant development, using one hybrid with high grain yield potential (P 30F33) and another with high DM production potential (GNZ 2004). The randomized block design was used, in a split plot scheme with four replications, with the two hybrids as plots and eleven phenological stages of the culture as sub-plots. Maize cultivars accumulate dry matter, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, zinc and copper until near physiological plant maturity when the maximum accumulation is reached. Nutrients accumulation in the aerial parts occurred in the decreasing order: N > K > P > Ca > Mg > S > Zn > Mn > Cu > B. The nutrient absorption curves for GNZ 2004 and P 30F33 hybrids showed patterns similar to those observed in other works. The total amounts of nutrients required to produce one ton of corn grains were: 22.3 and 27.7 kg of N; 5.3 and 5.8 kg of P; 21.3 and 23.2 kg of K; 3.6 and 3.9 kg of Ca; 2.4 and 3.5 kg of Mg; 1.3 and 1.9 kg of S, respectively for the hybrids P 30F33 and GNZ 2004. The maximum DM accumulation in leaves and straws was obtained at phenological stage 6, and in stems, corn cobs and grains at stages 9 and 10 of plant development.

Key-words: *Zea mays*, nutrients accumulation, hybrid maize, fertilization.

O estudo da marcha de absorção de nutrientes e do acúmulo de matéria seca, em função dos estádios fenológicos da cultura do milho, é de fundamental importância para subsidiar estratégias de definição das quantidades e das épocas de realização de adubações e das quantidades mínimas que devem ser restituídas ao solo para fins de manutenção da fertilidade.

A extração de nutrientes depende da produtividade obtida e da acumulação de nutrientes nos grãos e em outras partes da

planta. É necessário colocar à disposição da planta as quantidades de nutrientes extraídas, sendo que estas devem ser repostas pelo solo e pelas adubações. Após a definição das doses de nutrientes a aplicar para a cultura, o passo seguinte é conhecer a absorção e a acumulação de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, identificando as épocas de maior exigência da planta para cada elemento.

As recomendações oficiais de adubação para a cultura de milho no Brasil, dentre outras

as propostas por Cantarella et al. (1996) e Ribeiro (1999), contemplam doses de nutrientes baseadas na produtividade esperada para o tipo de exploração. Entretanto, essas recomendações, apresentadas na forma de tabelas, dizem respeito a valores médios para um sistema radicular explorando um volume pré-determinado de solo. Esse procedimento generalizado é apenas um indicativo e precisa ser ajustado a cada caso, o que depende da experiência de quem está planejando a adubação e de aspectos referentes à economicidade da exploração agrícola (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

De acordo com os trabalhos de Andrade et al. (1975), Furlani et al. (1977) e Vasconcelos et al. (1983), o crescimento do milho é uma função linear do tempo e a curva do peso de matéria seca da planta inteira é ligeiramente sigmóide. Segundo esses autores, essa curva é praticamente linear dos 40 aos 80 dias após a emergência (DAE), com o máximo acúmulo ocorrendo entre 100 e 110 DAE, quando começa a decrescer o peso total da planta, provavelmente devido à queda de folhas senescentes. É comum observar redução na quantidade de matéria seca no final do ciclo da planta, especialmente após a formação da metade da massa total de grãos (Sayre, 1948; Andrade et al., 1975; Vasconcelos et al., 1983). Isso provavelmente ocorre devido à perda de parte das folhas e à lixiviação de potássio das folhas e do colmo, além do aumento da capacidade de dreno da espiga. A absorção de nutrientes logo no início do ciclo da cultura do milho é mínima, pois as reservas contidas nas

sementes são suficientes para as necessidades iniciais da planta (Stipp & Yamada, 1988).

De maneira geral, as absorções de N, P, K, Ca e Mg aumentam linearmente com o aumento da produtividade da cultura do milho, sendo o N o nutriente absorvido em maior quantidade, seguido por K, P, Ca e Mg (Vasconcelos et al., 1983; Coelho e França, 1995). Desse modo, conhecer as quantidades e as épocas mais adequadas de fornecimento de nutrientes é fundamental para promover o aumento da produtividade nas lavouras e para aumentar a eficiência desses insumos, que se encontram cada vez mais caro.

Bull (1993) apresentou curvas de absorção de nutrientes e afirmou que, de modo geral, o pico de absorção de N ocorre aos 80 DAE e que a quantidade requerida é de 180 kg ha⁻¹ de N. Para o P e o K, o pico de absorção ocorre entre 80-100 e 75 DAE, respectivamente, e a quantidade requerida é de 30 kg ha⁻¹ para o P e 218 kg ha⁻¹ para o K. Para Ca, Mg e S, o pico ocorre aos 80-90, 80 e 80-90 DAE, respectivamente, e as quantidades requeridas por hectare são de 34 kg para o Ca e Mg e 32 kg para o S.

No entanto, dois pontos necessitam de mais informações a respeito. Um é que o entendimento do ciclo da planta de milho baseando-se apenas na sua idade, normalmente expressa em dias após o plantio (DAP) ou em dias após a emergência (DAE), pode levar a equívocos de interpretação. Isso ocorre pelo fato de as cultivares poderem ter variações

quanto ao tempo para a ocorrência de eventos fisiológicos na planta e também devido a variações na idade cronológica com a região de cultivo e época de semeadura. O segundo é que estudos realizados em condições tropicais (Andrade *et al.*, 1975; Vasconcellos *et al.*, 1983) foram executados há muitos anos e o melhoramento genético está disponibilizando cultivares cada vez mais produtivas e precoces. Sendo assim, novos estudos sobre a marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca podem revelar outras épocas de aplicação e quantidades de nutrientes requeridas pela cultura.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi determinar a marcha de absorção de macronutrientes e o acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea de plantas de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura, para híbridos modernos de alto potencial de produção de matéria seca e alto potencial de produção de grãos.

Material e Métodos

Foram utilizados dois híbridos simples de milho (P30F33 e GZN2004) com características diferentes de arquitetura, ciclo, consistência de grão, estatura da planta, stay green e utilização. O híbrido P 30F33 é representativo de cultivares com alta produtividade de grãos e o híbrido GNZ2004, de cultivares com alta produtividade de forragem, para cultivos no Brasil, na primeira metade da década de 2000.

A pesquisa foi desenvolvida em área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras, MG, situada a 21°14'S e 45°00'O e a 910 metros de altitude. O clima local é do tipo Cwa (subtropical, com verão chuvoso e inverno seco), segundo a classificação de Köppen. A condução dos experimentos deu-se em períodos de ocorrências de temperatura, intensidade e distribuição de chuvas favoráveis ao cultivo de milho (Figura 1). O solo da área experimental foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), textura argilosa e declividade de 9%. As características físicas e químicas do solo da área experimental foram descritas por Borges (2006).

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo os dois híbridos de milho dispostos nas parcelas principais e, nas subparcelas, as épocas de coleta das plantas, considerando os estádios fenológicos da cultura do milho conforme descrito por Fancelli (1986), adaptado de Nel e Smit (1978). Seis plantas representativas da parcela foram coletadas ao final de cada estágio fenológico. As parcelas experimentais foram constituídas de quatro linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas de 0,80 metro, sendo as duas centrais consideradas úteis para efeito de coleta de dados e observações. Na adubação de semeadura, utilizaram-se 500 kg ha⁻¹ da formulação 08-28-16 + 0,3% Zn. Foram realizadas três adubações de cobertura: a primeira, no estágio fenológico

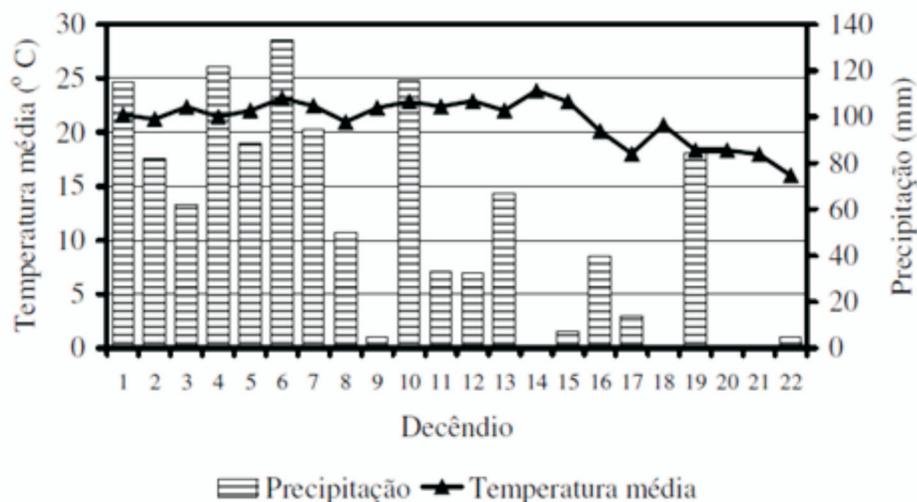


FIGURA 1. Dados médios de temperatura, e precipitação pluviométrica acumulada por decêndio, em Lavras, MG de 21/11/2004 a 28/06/2005. Dados obtidos no setor de Bioclimatologia da UFLA, Lavras, MG, 2006.

1, com quatro folhas totalmente expandidas (90 kg ha^{-1} de N e 60 kg ha^{-1} de K_2O), a segunda também no estágio fenológico 1, com seis folhas totalmente expandidas (60 kg ha^{-1} de N) e a terceira no estágio fenológico 2, com oito folhas totalmente expandidas (60 kg ha^{-1} de N).

A semeadura foi realizada em 22 de novembro de 2004. O desbaste das plantas foi realizado com três a quatro folhas totalmente expandidas, considerando a densidade de $60.000 \text{ pl ha}^{-1}$. O controle de plantas daninhas foi realizado com enxada, nos estádios fenológicos 1 e 2. O controle de doenças não foi necessário. Já o controle da lagarta-do-cartucho foi realizado em duas ocasiões, quando as plantas estavam nos estádios fenológicos 1 e 2, usando

o inseticida Decis (Deltamethrin 5%), na dose de 200 ml ha^{-1} .

Para efeito de coleta de dados, foi considerado o sistema de classificação dos estádios fenológicos da cultura do milho proposto por Fancelli (1986), adaptado de Nel e Smit (1978). Foram avaliadas as seguintes características: acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na matéria seca total das plantas.

O material vegetal colhido em cada parcela (seis plantas competitivas) foi separado em caule, folhas, palha, sabugo e grãos. Posteriormente, as partes vegetais foram lavadas e secadas em estufa de circulação forçada, a 70°C , até peso constante, para determinação

da matéria seca. Amostras do material de cada parcela foram moídas e enviadas ao laboratório de análise foliar do Departamento de Ciência do Solo / UFLA, para realização das determinações dos teores de macronutrientes na MS.

Foram avaliados, também, o rendimento de grãos e a prolificidade. Para o cálculo do rendimento de grãos e da prolificidade, foram colhidas todas as espigas da área útil das parcelas. As espigas foram contadas e debulhadas. A prolificidade foi obtida pela razão entre o número total de espigas colhidas pelo número total de plantas na parcela.

Posteriormente, determinou-se, em estufa, o teor de água dos grãos, sendo os valores obtidos corrigidos para a umidade padrão de 13% e transformados para quilos de grãos por hectare.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, para as diferenças significativas identificadas pelo teste F ($P < 0,05$), foram feitas análises de regressão com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000), sendo os acúmulos de nutrientes e de matéria seca as variáveis dependentes (Y) e as épocas de coleta das plantas, considerando os estádios fenológicos da cultura conforme descrito por Fancelli (1986), a variável independente (X).

Resultados e Discussão

Para fósforo, potássio e cálcio, somente o efeito estádios fenológicos foi significativo ($P < 0,01$). Para matéria seca e enxofre, foi

observado significância ($P < 0,01$) dos efeitos cultivares, estádios fenológicos e interação cultivares x estádios fenológicos. Para nitrogênio e magnésio, observou-se significância ($P < 0,05$) dos efeitos estádios fenológicos e interação cultivares x estádios fenológicos.

O acúmulo de MS para os dois híbridos apresentou comportamento linear durante o ciclo da cultura (Figura 2). A linearidade de acúmulo de MS por cultivares de milho também foi observada por Hanway (1962) e Vasconcellos *et al.* (1983).

Os valores totais de matéria seca, grãos e de macronutrientes acumulados pelas cultivares de milho (Figura 1 e Tabela 1) foram significativamente maiores que os observados em outros trabalhos (Andrade *et al.*, 1975, Furlani *et al.*, 1977, Vasconcelos *et al.*, 1983, Bull, 1993, Duarte *et al.*, 2003). Os resultados obtidos evidenciam a maior capacidade de acúmulo de MS da cultivar GNZ2004.

A cultivar GNZ2004, no período compreendido entre o início do enchimento de grãos e a maturação fisiológica (a partir do estágio fenológico 6), apresentou maior acúmulo de matéria seca que a P 30F33, evidenciando sua maior capacidade em acumular matéria seca nas partes reprodutivas da planta (Figura 2). Isso pode, em parte, ser explicado pela maior estatura de planta e pela maior prolificidade manifestada pela cultivar GNZ 2004 (1,25 espigas. planta⁻¹).

As acumulações totais de macronutrientes pelas cultivares GNZ 2004 e P 30F33, respectivamente, seguiram a seguinte ordem

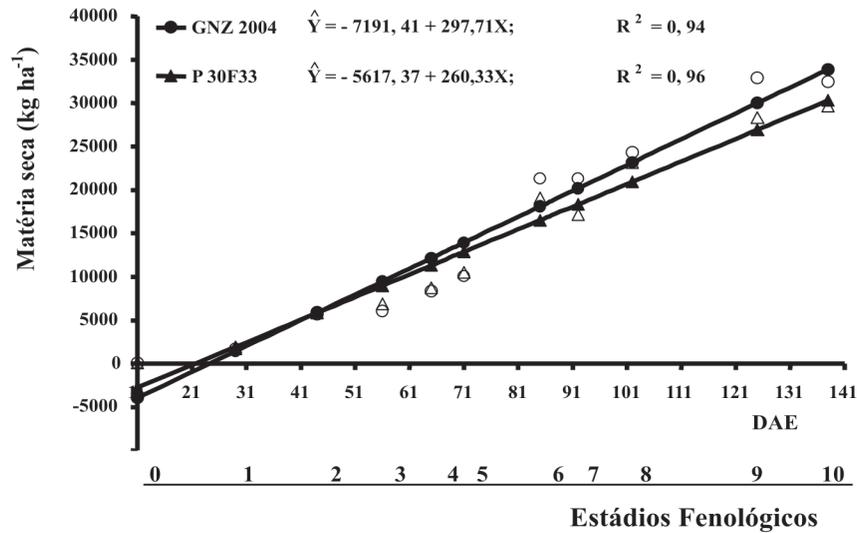


FIGURA 2. Acumulação total de matéria seca, de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). Lavras, MG, 2006.

decrecente de valores: N: 401 e 327 kg ha⁻¹, K: 312 e 316 kg ha⁻¹, P: 92 e 76 kg ha⁻¹, Ca: 61 e 60 kg ha⁻¹, Mg: 47 e 37 kg ha⁻¹, S: 30 e 24 kg ha⁻¹ (Tabela 1). Essa mesma sequência decrescente de acúmulo total de macronutrientes também foi observada por Vasconcellos et al. (1983), em um híbrido mais antigo.

Na Tabela 2, estão apresentadas as quantidades totais de macronutrientes necessárias para a produção de uma tonelada de grãos e uma tonelada de matéria seca. Observa-se que a cultivar GNZ2004 exporta maiores quantidades de nutrientes por tonelada de grãos produzidos, apesar do menor rendimento de grãos obtido. Para rendimento de matéria seca, o comportamento das cultivares foi o inverso, com a P30F33 exportando maiores quantidades de nutrientes por tonelada de MS produzida.

Foi observado comportamento linear no acúmulo de nitrogênio ao longo do ciclo da cultura (Figura 3), sendo constatadas diferenças significativas entre os híbridos avaliados somente a partir do estágio fenológico 9. Para cada dia após a emergência, o acúmulo de N na matéria seca aumentou 3,16 kg ha⁻¹ para a cultivar GNZ 2004, e 2,62 kg ha⁻¹ para a cultivar P 30F33, sendo que as equações de regressão para ambas cultivares explicam 95% da variação total dos dados.

Os híbridos tiveram pequena acumulação de N nos estádios iniciais, com um incremento significativo ocorrendo aos 44 dias e um acúmulo crescente e linear até os estádios finais de desenvolvimento, quando foram obtidos os valores máximos, 374,6 kg ha⁻¹ para o GNZ2004 e 327,6 kg ha⁻¹ para o P30F33 (Figura 3).

TABELA 1. Produtividade de grãos e de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea de cultivares de milho obtidos neste trabalho e valores médios adaptados de outros trabalhos conduzidos no Brasil. Lavras, MG, 2009.

Trabalhos	Grãos	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
	t ha ⁻¹				kg ha ⁻¹			
Trabalho atual ¹	13,5-14,6	32,9-29,6	401-327	92-76	312-316	61-60	47-37	30-24
Bull (1993)	9,1	-	190	39	196	40	44	21
Hiroce et al. (1989) ²	4,9	13,5	135,73	22,54	86,24	20,58	22,54	12,74
Vasconcelos et al. (1983) ³	5,1	9,9-14,3	77-129	15-24	34-53	19-24	11-16	-
Furlani et al. (1977) ⁴	6,8	-	111,52	14,58	127,16	37,4	14,96	57,8
Andrade et al. (1975) ⁵	6,2	16,3	181,04	31	218,24	34,72	35,96	32,24
Duarte et al. (2003) ⁶	7,7	16,2	204	25	162	24	41	11

¹Resultados obtidos neste trabalho, considerando, respectivamente, as cultivares GNZ 2004 e P 30F33, em experimento conduzido em campo, população de 60.000 pl ha⁻¹, em Lavras – MG.

²Média de quatro híbridos comerciais e seis populações, população de 50.000 pl ha⁻¹, Campinas – SP.

³Média respectivas das cultivares BR126 e BR105, com e sem irrigação, população de 50.000 pl ha⁻¹, Sete Lagoas – MG.

⁴Média das cultivares HS1227 e HS7777, população de 50.000 pl ha⁻¹, Campinas – SP.

⁵Média de cinco cultivares, população de 50.000 pl ha⁻¹, Piracicaba – SP.

⁶Média de cinco cultivares, população de 55.000 pl ha⁻¹, Palmital – SP.

TABELA 2. Quantidade de nutrientes, expressos na forma elementar, necessária para produção de uma tonelada de grãos e uma tonelada de matéria seca, em dois híbridos de milho. Lavras, MG, 2009.

Cultivar		N	P	K	Ca	Mg	S
		kg t ⁻¹ produzida ¹					
GNZ2004	Grãos	27,7	5,8	23,2	3,9	3,5	1,9
	MS	11,4	2,4	9,5	1,6	1,4	0,8
P30F33	Grãos	22,3	5,3	21,3	3,6	2,4	1,3
	MS	12,6	2,6	10,6	1,8	1,6	0,90

¹Produtividade de grãos (13% umidade) e de matéria seca obtidas: GNZ 2004 = 13.503,75 kg ha⁻¹ de grãos e 32.937,5 kg ha⁻¹ de MS; P 30F33 = 14.669,54 kg ha⁻¹ e 29.662,5 kg ha⁻¹ de MS.

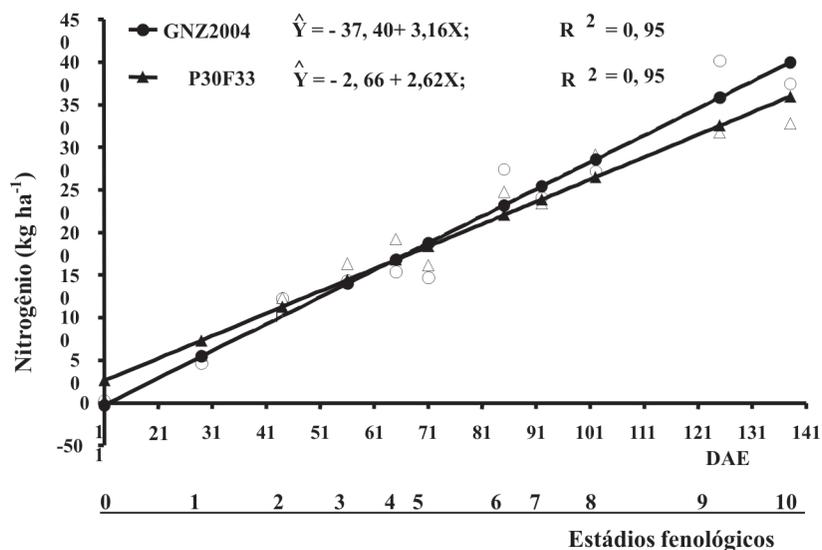


FIGURA 3. Acumulação total de nitrogênio, de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência – DAE). Lavras, MG, 2006.

Vasconcellos et al. (1998) também observaram diferenças entre cultivares quanto ao acúmulo de N. O pequeno acúmulo inicial de N, sucedido por uma acumulação crescente e linear até um ponto de máximo, também foi observado por Andrade et al. (1975) e por Vasconcellos et al. (1983), em condições de cultivo sem irrigação suplementar. Além dos maiores períodos de acumulação de N observado para as cultivares GNZ 2004 e P 30F33, os valores máximos de N acumulado foram muito superiores aos observados por Andrade et al. (1975), Vasconcellos et al. (1983) e Vasconcellos et al. (1998).

As cultivares GNZ2004 e P30F33 apresentaram comportamento semelhante quanto ao acúmulo de P durante o ciclo da cultura (Figura 4). Para cada dia após a

emergência, o acúmulo de P aumentou 0,67 kg ha⁻¹, sendo que a equação de regressão explica 90% da variação total dos dados. Houve aumento significativo nos totais de P acumulado nos estádios finais, principalmente a partir do estágio 9 (125 DAE). Em média, os valores máximos de P acumulados pelas cultivares avaliadas neste trabalho (83,22 kg ha⁻¹) foram superiores aos obtidos em trabalhos realizados anteriormente, ou seja, 30 kg ha⁻¹ por Andrade et al. (1975) e 24 kg ha⁻¹ por Vasconcellos et al. (1983). Isso provavelmente está relacionado ao maior rendimento de grãos das cultivares GNZ 2004 e P 30F33, comparado aos obtidos por esses autores, uma vez que esse nutriente é acumulado em grande proporção nos grãos de milho.

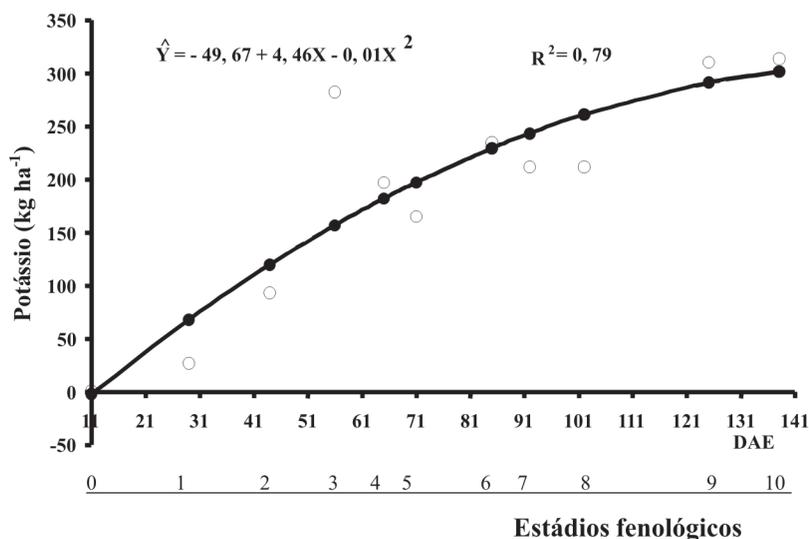


FIGURA 4. Acumulação total de fósforo, considerando a média de dois híbridos de milho (GNZ 2004 e P 30F33), em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência – DAE). Lavras, MG, 2006.

O acúmulo de potássio pelas cultivares de milho teve comportamento quadrático durante o ciclo da cultura (Figura 5), na média das duas cultivares. A acumulação nas plantas teve um primeiro pico de absorção (282 kg ha^{-1}) por ocasião do estágio fenológico 3, quando verifica-se um intenso crescimento vegetativo, e um segundo pico de absorção (313 kg ha^{-1}) na maturidade fisiológica (estádio 10), quando se observou o máximo acúmulo desse nutriente na planta de milho. Um pico de absorção intermediário (234 kg ha^{-1}) foi observado no estágio fenológico 6 (fase inicial de enchimento de grãos). Os estádios de ocorrência dos máximos acúmulos de potássio observados por Andrade *et al.* (1975), Karlen *et al.* (1987), Mullins e Burmester (1996) e por Vasconcellos

et al. (1983) foram, respectivamente, em torno do estágio 3, do estágio 6, do estágio 7 e do estágio 8. Não foram encontrados relatos de acumulação de K nos estádios finais (9 e 10), como observado neste trabalho. Isso em muito se deve à maior capacidade de produção das cultivares GNZ 2004 e P 30F33, que foram desenvolvidas mais recentemente, já que o K é o segundo elemento absorvido em maior quantidade pelas plantas de milho e tem relação direta com o rendimento de MS e grãos de milho (Overman *et al.*, 1995).

A acumulação de cálcio (Ca) pelas plantas teve comportamento quadrático durante o ciclo da cultura (Figura 6), com um primeiro pico de absorção na ocasião do estágio de florescimento, e um segundo pico de absorção na maturidade

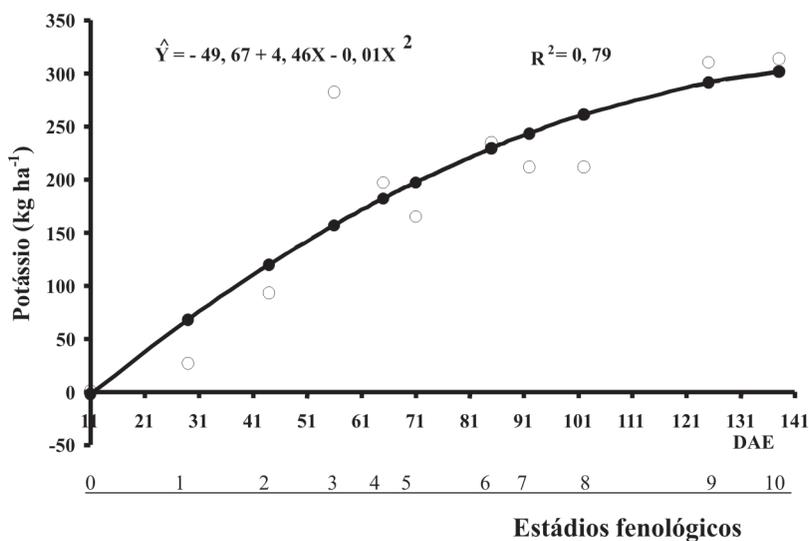


FIGURA 5. Acúmulo total de potássio, considerando a média de dois híbridos de milho (GNZ 2004 e P 30F33), em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência - DAE). Lavras, MG, 2006.

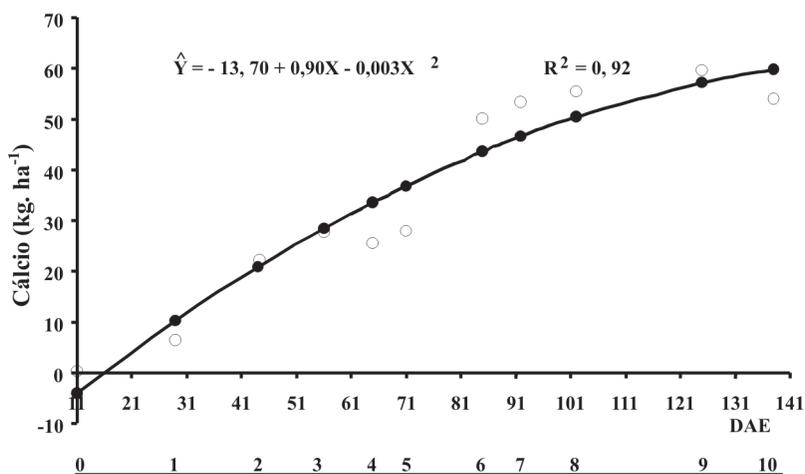


FIGURA 6. Acumulação total de cálcio, considerando a média de dois híbridos de milho (GNZ 2004 e P 30F33), em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência - DAE). Lavras, MG, 2006.

fisiológica, quando se observou o máximo acúmulo. As cultivares acumularam quantidades semelhantes de Ca. O máximo acúmulo de cálcio ocorreu no estágio 9 (125 DAE), com um total de 60 kg ha⁻¹. Andrade et al. (1975) e Vasconcellos et al. (1983) observaram valores máximos de acúmulo de Ca inferiores aos encontrados neste trabalho, 19,3 e 26 kg ha⁻¹, respectivamente. Já Loué (1963) encontrou valores máximos de Ca acumulado superiores a 40 kg ha⁻¹, valores esses também inferiores aos obtidos com as cultivares GNZ 2004 e P 30F33.

O acúmulo de Mg nas cultivares apresentou comportamento linear durante o ciclo da cultura (Figura 7), não sendo constatadas diferenças significativas entre os híbridos avaliados. As quantidades totais de Mg acumuladas nos estádios iniciais foram pequenas, e ocorreu um pequeno incremento do estágio fenológico 2 (44 DAE) até o estágio 5 (final do florescimento). A

partir do estágio 6 (85 DAE), houve incremento significativo no acúmulo de magnésio, que cresceu de maneira linear até o final do ciclo, para os dois híbridos analisados. O máximo acúmulo de Mg ocorreu no final do ciclo da cultura, com valores superiores a 46 kg ha⁻¹, para o GNZ 2004, e a 36 kg ha⁻¹, para o P 30F33. Esses valores são superiores aos obtidos por Vasconcellos et al. (1983), que obtiveram entre 11 kg ha⁻¹ e 16 kg ha⁻¹, e semelhantes aos obtidos por Andrade et al. (1975), que obtiveram 38 kg ha⁻¹.

Em ambas cultivares, a acumulação de enxofre apresentou comportamento linear durante o ciclo da cultura (Figura 8). O acúmulo de S aumentou pouco até o final estágio fenológico 5 (71 dias), sendo que, no estágio fenológico 6, houve um incremento significativo no total acumulado, para um patamar superior a 22 kg ha⁻¹, o que praticamente se manteve até

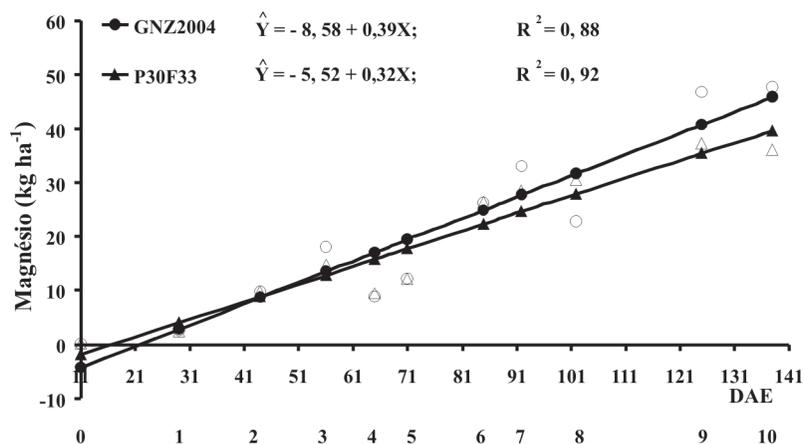


FIGURA 7. Acumulação total de magnésio, em dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência - DAE). Lavras, MG, 2006.

o final do ciclo. O máximo acúmulo de enxofre ocorreu no estágio fenológico 9, para os dois híbridos (aos 125 dias), com valores superiores a 30 kg ha⁻¹ para o GNZ 2004 e superiores a 22 kg ha⁻¹ para o P 30F33, com uma redução nos totais de S acumulado até à maturidade fisiológica (estádio fenológico 10), o que foi também observado para Ca.

Andrade et al. (1975) observaram que o máximo acúmulo de enxofre ocorreu aos 93-95 dias. Entretanto, os valores máximos obtidos em ambos os trabalhos foram semelhantes, permitindo inferir que os maiores rendimentos de grãos e de MS obtidos com cultivares de milho desenvolvidas recentemente não estão necessariamente relacionados a maior absorção de enxofre pelas plantas.

Na Figura 9, estão apresentados os totais da matéria seca acumulada nas diferentes

partes das plantas de milho e a matéria seca total acumulada em cada estágio fenológico da cultura. O acúmulo de matéria seca (MS) nas folhas foi pequeno no início do desenvolvimento da cultura (70,24 kg ha⁻¹, no estágio 0); no estágio 1, ocorreu um incremento no acúmulo de MS nas folhas, que foi crescente até o estágio 6 (início do enchimento de grãos), quando o acúmulo foi máximo, 5.662,50 kg ha⁻¹. No período compreendido entre o início do enchimento de grãos (estádio 6) e a maturidade fisiológica da cultura (estádio 10), as folhas entraram em processo de perda de MS. Isto também foi observado por Ulhoa (1982), Vasconcelos et al. (1983) e Karlen et al. (1988). Entretanto, esses autores obtiveram valores máximos para acúmulo de MS nas folhas mais precocemente, próximo do florescimento.

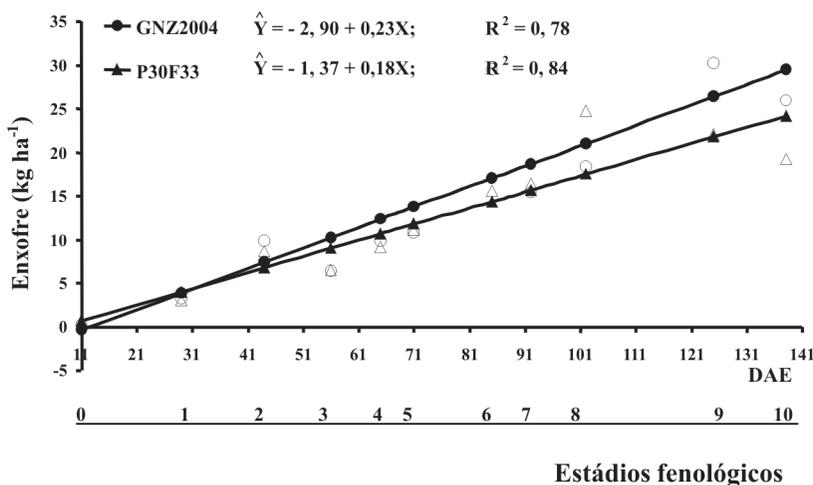


FIGURA 8. Acumulação total de enxofre, em dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). Lavras, MG, 2006.

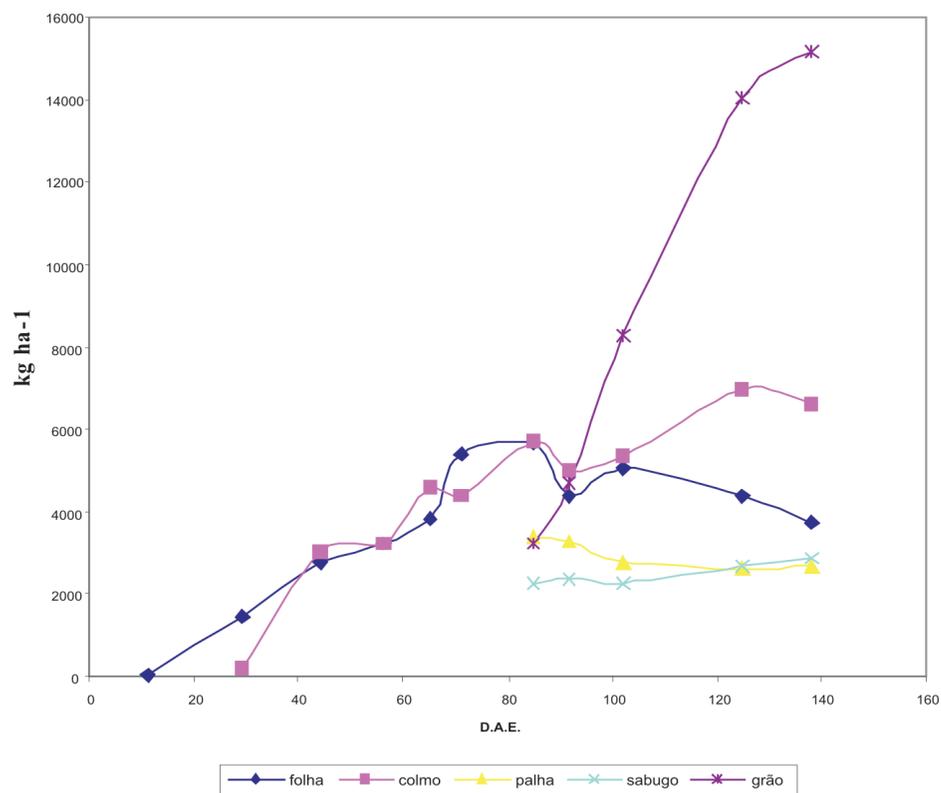


FIGURA 9. Curvas de acúmulos da matéria seca nas diferentes partes vegetativas da planta de milho, considerando a média de duas cultivares, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). Lavras, MG, 2009.

O acúmulo de MS no colmo foi muito baixo nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (207,79 kg ha⁻¹, no estágio 1); no estágio 2, houve incremento significativo na MS total acumulada nos colmos das plantas de milho, que se estendeu até o estágio 9. Nessa época, ocorreu a máxima acumulação de MS, ou seja, 6.962,50 kg ha⁻¹. Vale ressaltar que a perda de MS dos colmos na maturidade fisiológica (estádio 10) foi de pequena magnitude e pode estar relacionada a problemas de amostragem (Figura 9).

O máximo acúmulo de MS nos colmos observado por Vasconcellos *et al.* (1983) ocorreu no estágio 8 (grãos farináceos), tendo esses autores utilizado cultivares de ciclo mais tardio (BR105 e BR126).

Na palha das espigas, o acúmulo de matéria seca observado foi máximo no estágio 6 (Figura 9). A partir daí, houve uma pequena redução na MS acumulada, mantendo-se praticamente constante até o final do ciclo da cultura. Pode-se inferir que as plantas de milho acumulam MS na palha das espigas até o final do

florescimento, não se observando aumentos nos totais acumulados até o final do ciclo da cultura.

O acúmulo de MS no sabugo foi praticamente constante até o estágio 8 (102 DAE), com posterior elevação nos valores totais acumulados até próximo à maturidade fisiológica, em que se atingiu o máximo acúmulo de MS nos sabugos (2.893 kg ha⁻¹) (Figura 9).

O acúmulo de MS nos grãos aumentou até a maturidade fisiológica, quando atingiu o valor máximo de 15.156 kg.ha⁻¹. Houve incremento significativo nos totais da matéria seca acumulada nos grãos a partir do estágio 8 (Figura 9).

Na maturidade fisiológica, os grãos contribuíram com 48% da MS total da planta de milho, a palha com 9,5% e o sabugo com 9,3%, ou seja, a espiga contribuiu com 67,6% da MS total da planta. Esse percentual é superior ao obtido por outros autores, que obtiveram em torno de 55% de contribuição da espiga na matéria seca total (Sayre, 1948; Andrade et al., 1975; Furlani et al., 1977; Vasconcellos et al., 1983; Vasconcellos et al., 1998). Como os híbridos envolvidos nesses trabalhos são antigos, os resultados aqui obtidos evidenciam que os híbridos modernos são mais eficientes em acumular MS na espiga.

Conclusões

Os acúmulos de matéria seca total, nitrogênio, fósforo, magnésio e enxofre em

função dos estádios fenológicos da cultura do milho seguem linearmente durante o ciclo.

Cultivares de milho acumulam matéria seca total das plantas, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre até próximo à maturidade fisiológica, quando são obtidos os acúmulos máximos.

Plantas de milho acumulam macronutrientes em sua parte aérea na seguinte ordem decrescente: N>K>P>Ca>Mg>S.

A cultivar GNZ 2004 acumula maiores quantidades de matéria seca total, N, P, Mg e S na parte aérea das plantas do que a P 30F33.

O máximo acúmulo de matéria seca nas folhas e na palha das espigas das plantas de milho é obtido no estágio fenológico 6.

O máximo acúmulo de matéria seca no colmo, nos sabugos e nos grãos de milho é obtido nos estádios 9 e 10 de desenvolvimento da cultura.

Literatura Citada

ANDRADE, A. G. de; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. de; SARRUGE, J. R. Acumulação diferencial de nutrientes em cinco cultivares de milho (*Zea mays*). Crescimento. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz**, Piracicaba, v. 32, p. 115-149, 1975.

BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho**. 2006. 115 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

- BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.) **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E.; OLIVEIRA de. 13. Ceres. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. p. 43-47. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Nutrição e adubação: seja doutor do seu milho. 2.ed. aum. **Informacoes Agronomicas**, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, set. 1995 Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n.2, p.1-9, set., 1995. Encarte.
- DUARTE, A. P.; KIEHL, J. C.; CAMARGO, de M. A. F.; 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**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p 1-20, 2003.
- FANCELLI, A. L. **Plantas alimentícias: guia para aula, estudos e discussão**. Piracicaba: ESALQ, 1986.131 p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) par Windows 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- 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**, Campinas, v. 36, n. 22, p. 223-229, set. 1977.
- HANWAY, J. J. Corn growth and composition in relation to soil fertility: I. Growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, n. 2, p. 145-148, Mar./Apr. 1962.
- HIROCE, R.; FURLANI, A. M. C.; LIMA, M. **Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho**. Campinas: Instituto Agronômico, 1989. 24 p. (Boletim científico, 17).
- KARLEN, D. L.; FLANNERY, R. L.; SADLER, E. J. Nutrient and dry matter accumulation rates for high yeilding mayze. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, n. 9/16, p. 1409-1417, 1987.
- LOUÉ, A. Estudo comparativo das exigências minerais de algumas variedades de milho híbrido. **Fertilité**, Paris, v. 20, p. 22-32, 1963.
- MULLINS, G. L.; BURMESTER, C. H. Potassium uptake by crops during the season. In: SYMPOSIUM ON POTASSIUM NUTRITION IN PLANTS, 1996, Indianapolis. In: **Frontier in potassium nutrition: new perspectives on the effect of potassium on crop plant physiology: proceeding**. [S.l.]: Potash

& Phosphate Institute, 1996. Cap. 15, p. 123-132. E Editado por D. M. OOSTERHUIS, BERKOWITZ, G. A.

OVERMAN, A. R.; WILSON, D. M.; VIDAK, W.; ALLANDS, M. N.; PERRY JUNIOR, T. C.; Model for partitioning of dry matter and nutrients in corn. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 5, p. 959-968, 1995.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p. SAYRE, J. D. Mineral accumulation in corn. **Plant Physiology**, Rockville, v. 23, n. 3, p. 267-281, July 1948.

STIPP, S. R.; YAMADA, T. Nutrição e adubação do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 44, p. 3-6, dez. 1988.

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

VASCONCELLOS, C. A.; VIANA, M. C. M.; FERREIRA, J. J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período de inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 11, p. 1835-45, 1998.

