

Revisão Literária

Resumo

O milho, quando cultivado para produção de forragens, requer cuidados especiais com relação ao manejo do solo. Com a colheita total da parte aérea, grandes quantidades de nutrientes são removidas, podendo causar prejuízos ao balanço de nutrientes e rápido empobrecimento do solo, tendo como consequência a queda de produtividade e baixa qualidade da silagem em cultivos posteriores. O objetivo deste trabalho é esclarecer aspectos sobre a dinâmica de extração e exportação de nutrientes do solo pela cultura do milho para produção de silagem. A absorção de nutrientes pela cultura é fortemente influenciada por fatores como o clima, genótipo, sistemas de cultivo e nível de produtividade. Além de incrementar as quantidades de nutrientes na adubação de base do milho para forragem, é essencial fazer rotação de culturas e não utilizar a mesma área por anos consecutivos para a produção de silagem, devido a não manutenção de cobertura e susceptibilidade do terreno a ocorrência de erosão. A cultura do milho quando cultivada para silagem exporta da área de cultivo valores médios de 21 kg de N, 76 kg de K, 20 kg de Ca e 3,5 kg de Mg a mais por hectare que quando cultivado para a produção somente de grãos. O cultivo do milho para a produção de forragem promove maior exportação de nutrientes do solo de quando comparado com a colheita de grãos.

Palavras-chave: absorção de nutrientes, exportação de nutrientes, produção de matéria seca, silagem de milho.

Dinâmica dos nutrientes do solo em áreas destinadas à produção de milho para forragem

*Robson Kyoshi Ueno*¹

*Mikael Neumann*²

*Fabiano Marafon*¹

*Simone Basi*¹

*Jerônimo Gadens do Rosário*¹

Dinámica de los nutrientes del suelo en las áreas para la producción de maíz para forraje

Resumen

El maíz, cuando se cultiva para la producción de forrajes requiere un cuidado especial en relación con la gestión del suelo. Con la cosecha total de la planta, son extraídos grandes cantidades de nutrientes, y se puede causar un desequilibrio de nutrientes y rápido empobrecimiento del suelo, dando lugar a disminución de la productividad y la mala calidad de los cultivos de forraje realizados posteriormente. El objetivo de este estudio es aclarar aspectos sobre la extracción y exportación de nutrientes del suelo por el maíz para forraje. La absorción de nutrientes por la cultura está fuertemente influenciada por factores como el clima, el genotipo, sistemas de cultivo y niveles de la productividad. Además de aumentar las cantidades de nutrientes en la fertilización de base de maíz para forraje, es esencial hacer la rotación de cultivos y no usar la misma área durante años consecutivos para la producción de ensilaje, debido a la falta de cobertura del suelo y la susceptibilidad de la ocurrencia de la erosión. Maíz cuando cultivado para ensilaje extrae de la area de cultivo en media 21 kg N, 76 kg de K, 20 kg de Ca y 3,5 kg de Mg por hectárea a más que cuando se cultiva para la producción de granos. El cultivo de maíz para la producción de forraje promueve una mayor exportación de nutrientes del suelo en comparación con la cosecha de granos.

Palabras clave: absorción de nutrientes, exportación de nutrientes, producción de materia seca, ensilaje de maíz.

Recebido em: 10 /11/2010

Aceito para publicação em: 15/03/2011

1 - Aluno do Curso de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO, Campus Cedeteg Guarapuava-PR, Brasil. CEP: 85040-080,. E-mail: robsonueno@hotmail.com.

2 - Eng. Agr., Dr., Prof. do Curso de Mestrado em Agronomia , Universidade Estadual do Centro Oeste- UNICENTRO, Campus Cedeteg,. E-mail: mikaelneumann@hotmail.com.

Introdução

A maior profissionalização da atividade pecuária observada atualmente nos sistemas de produção do Brasil, seja de corte ou leite, tem instigado cada vez mais a manutenção do aporte alimentar dos animais ao decorrer do ano por técnicas de forrageamento. São mais que conhecidos os riscos que correm de não manter sua escala de produção os pecuaristas que baseiam a alimentação dos animais somente a pasto, devido à sazonalidade climática e estacionalidade das pastagens (NEUMANN, 2011).

Quando o milho é cultivado com a finalidade de produzir silagem devemos realizar o manejo de adubação e posterior condução da área de forma diferenciada às recomendações para a produção somente de grãos, pois além dos grãos, a parte vegetativa é cortada e removida do campo antes que a cultura complete o seu ciclo, fazendo com que a maior parte dos nutrientes que foram extraídos do solo durante o ciclo de vida da cultura sejam exportados da área de cultivo, podendo causar desbalanço de nutrientes e empobrecimento rápido do solo, tendo como consequência a queda de produtividade e baixa qualidade da silagem em cultivos posteriores (COELHO, 2006).

Há quase duas décadas, NUSSIO (1993) relatou que apenas uma pequena fração dos produtores fazia uso da prática de ensilagem de milho de forma satisfatória, e a maioria dos cultivos se dava de modo quase que extrativista, com o uso de fertilizantes e corretivos em quantidades muito aquém do recomendado, ou até mesmo apenas

com a fertilidade natural do solo. Ainda ressaltava a necessidade de estabelecer uma filosofia de cultivo que preconize a alta produtividade com base na reposição de nutrientes ao solo, sendo necessário estabelecer conceitos relativos à adubação dessas plantas para a ensilagem diferente daquelas desenvolvidas para a produção de grãos, onde ocorre a reciclagem de nutrientes no sistema.

No contexto atual, poucas mudanças ocorreram na mentalidade e atitude dos produtores e técnicos envolvidos na atividade. O manejo nutricional dos rebanhos vem evoluindo, porém pouca importância tem se dado a sustentabilidade e manutenção da fertilidade dos solos. Embora a comissão de química e fertilidade do solo (CQFS RS/SC, 2004) recomende adubações específicas para o milho e sorgo destinados à produção de silagem, em que as quantidades de fertilizante são superiores em relação a colheita de grãos, poucos produtores adotam essas recomendações.

Contudo, a atitude de apenas elevar os níveis de fertilizante no plantio é questionável quando se pretende manter a sustentabilidade do sistema, pois a carga acrescida de nutrientes disponibilizada às culturas poderá gerar como reflexo a indução de maior resposta produtiva da mesma, e com isso o excedente de nutrientes fornecidos seriam extraídos e exportados do solo da mesma forma.

O objetivo deste trabalho é esclarecer aspectos sobre a dinâmica de extração e exportação de nutrientes do solo pela cultura do milho para produção de silagem.

Caracterização e Discussões

A problemática da produção de silagens de alta qualidade

Segundo VELHO et al. (2007), o milho quando cultivado para forragem verde e/ou silagem da parte aérea tem potencial de fornecer de 50 a 100% a mais de energia por hectare que qualquer outra forrageira. Além disso, a colheita de uma área de milho para silagem possibilita a obtenção de cerca de 40 a 50% a mais de energia total do que quando comparado a um cultivo com a finalidade de colheita de grãos (FRANÇA e COELHO, 2001). Trata-se de uma cultura muito eficiente na conversão de energia fotossintética para a produção de biomassa.

Para melhor compreensão de tal obtenção de energia, é importante considerar os conceitos da primordial lei da conservação das massas proposta por Lavoisier, que diz: "Na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma". Obviamente a geração desta energia extra não surgiu de forma espontânea, ela provém de fotoassimilados compostos principalmente de elementos provenientes da atmosfera (C, H e O), porém existe também em sua composição nutrientes provindos do solo (N, P, K, S, Ca e Mg), (RITCHIE et al., 2003).

Como explica VASCONCELLOS et al. (2002), o milho por ser uma planta C₄ é bastante eficiente na

utilização da radiação, absorção de H₂O e assimilação de CO₂ onde cerca de 90% da matéria seca (MS) da planta provém da fixação dos elementos atmosféricos pelo processo da fotossíntese, sendo o restante da fitomassa composta por nutrientes extraídos do solo. Apesar dos nutrientes do solo representarem cerca de 10% da MS produzida, são essenciais ao desenvolvimento da cultura, cada um com sua função e porcentagem de participação na fitomassa (RITCHIE et al., 2003).

Embora o cultivo do milho visando a colheita apenas dos grãos demande alta quantidade de nutrientes do solo, ainda, este receberá de volta parte dos nutrientes pela decomposição da palhada resultante da colheita. Porém, isto não ocorre quando o objetivo é colher o milho para forragem, e devido a isso, problemas de fertilidade do solo se manifestarão mais cedo na produção de silagem do que na produção de grãos, principalmente se for obtida por vários anos consecutivos de uma mesma área e sem os devidos manejos de solo e adubações adequadas (MARTIN et al., 2011).

Nesse contexto, é necessário que se procure efetuar a restituição dos elementos extraídos pelas culturas para que se possa manter a fertilidade do solo. Esse conceito não representa novidade, já que teve início com a lei da restituição instituída por VOISIN (1973), onde: "Os nutrientes exportados pelas culturas ou perdidos por erosão, volatilização, lixiviação e fixação devem ser recolocados ao solo, visando à manutenção do equilíbrio e do potencial produtivo do solo".

SILVA et al. (2010), monitoraram a fertilidade do solo por seis anos consecutivos de uma área destinada ao cultivo sucessivo de forragens de inverno (aveia preta e azevém) e verão (milho e sorgo) para a confecção de silagens, e encontraram baixos níveis de condutividade elétrica na camada de 0 a 80 cm de profundidade do solo ao final dos seis anos de estudo, mesmo com o fornecimento de 100% da adubação mineral recomendada para cada cultura. Como a condutividade elétrica é um método de avaliação que pode ser correlacionado com o teor de íons na solução do solo, a obtenção de valores inferiores sugere a ocorrência de baixos teores de compostos ou de elementos minerais solúveis em solução. Os autores concluíram que a baixa condutividade elétrica ao longo do perfil é referente ao esgotamento de nutrientes do solo

devido à retirada da planta inteira, visto que o fator que mais influenciou foi o baixo teor de K disponível, sendo um indicativo da elevada exportação desse nutriente pela forragem.

A determinação das necessidades nutricionais das plantas ocorre pela quantificação dos nutrientes que as mesmas extraem durante o seu ciclo. Portanto, a extração total é dependente do rendimento de fitomassa obtido pela cultura e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada. E ainda, devido ao fato de culturas com maiores rendimentos extraírem e exportarem maiores quantidades de nutrientes e, portanto, necessitarem de doses diferentes de fertilizantes, nas recomendações oficiais de adubação para a cultura do milho no Brasil, as doses dos nutrientes são segmentadas conforme a produtividade esperada (FRANÇA e COELHO, 2001).

De acordo com COELHO (2006), dados de experimentos conduzidos com doses moderadas a altas de fertilizantes disponibilizados para o desenvolvimento da cultura do milho para grãos e/ou silagem demonstraram que a extração de nutrientes pelas plantas cultivadas foi maior no nível de alta adubação por incrementar linearmente a resposta da cultura em produzir fitomassa, e com isso, aperfeiçoar a extração de N, P, K, Ca e Mg.

Estes conceitos permitem deduzir precocemente que a manutenção das áreas de forrageamento conduzidas apenas por incremento nas recomendações de fertilizante para as culturas esteja incorreta, nesta forma de pensar. Pois, quanto maior a carga de nutrientes que se fornece a dada cultura, maior será sua produção e conseqüentemente extração e exportação de nutrientes do solo. Além disso, o cultivo sucessivo de forragens interfere negativamente na produção de palha para a cobertura do solo e, por conseguinte no acúmulo de matéria orgânica, fato comumente observado nas áreas que margeiam as instalações de alimentação dos animais e/ou silos de armazenamento para produção de silagens.

A capacidade do solo em suprir nutrientes varia com o tipo de solo e com o histórico da área, portanto, para se estabelecer um programa de adubação que garanta alta produtividade, lucratividade e preservação ambiental, é necessário fazer periodicamente a avaliação da fertilidade do solo, através da análise química e física. Como

grandes quantidades de nutrientes são exportadas na colheita do milho para silagem, principalmente N e K, o acompanhamento da área, mediante análise química, deve ser feito anualmente, pois o teor de K no solo se reduz drasticamente com poucos anos de cultivo, especialmente em solos arenosos. Assim, tanto na produção de grãos como na de silagem será necessário colocar à disposição da planta a quantidade total de nutrientes que essa extrai, e que devem ser fornecidos também pelo solo, e não somente através de adubações (FRANÇA e COELHO, 2001).

Para tanto, é necessário que se pratiquem manejos diferenciados para fortalecimento e manutenção da fertilidade das glebas destinadas à produção de forragens. COELHO (2006) ressalta que dentre várias tecnologias passíveis de ser utilizadas destaca-se a conscientização dos produtores da necessidade da melhoria na qualidade dos solos, visando uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos está diretamente relacionada ao manejo adequado, o qual inclui entre outras práticas os conceitos bases de produção agrícola, como a rotação de culturas, plantio direto, manejo da fertilidade através da calagem, gessagem e adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos e/ou orgânicos (esterco, compostos, adubação verde, etc.).

MARTIN et al. (2011), acrescentam ainda que além de incrementar as quantidades de nutrientes na adubação de base do milho para forragem, é essencial fazer rotação de culturas e não utilizar a mesma área por anos consecutivos para a produção de silagem, devido a não manutenção de cobertura e susceptibilidade do terreno a ocorrência de erosão. Porém, é importante lembrar que grande parte dos pecuaristas não disponibiliza de áreas agricultáveis para implantar um sistema rotativo de produção de forragens, resultando em cultivos sucessivos de lavouras para produção de forragens na mesma gleba. Outro fato que não se pode esquecer é que quanto mais longe a lavoura se encontra do silo de armazenamento e das instalações de alimentação, maior será o custo de produção do sistema, ocasionado pela elevação dos gastos com o transporte dos alimentos volumosos, podendo em alguns casos inviabilizar a produção.

Nestes casos em que não existe maleabilidade na utilização do solo, o qual se torna fonte

constante de nutrientes para a alimentação dos animais, obrigatoriamente devem ser estabelecidas técnicas que busquem manter a sustentabilidade do sistema.

Dinâmica da absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do milho

Segundo FRANÇA e COELHO (2001), as necessidades nutricionais de uma cultura são determinadas pela quantidade de nutrientes que as plantas são capazes de extrair do solo, então, as recomendações de fertilização para o milho são realizadas de acordo com curvas de respostas de produtividade sob doses de fornecimento de nutrientes. Entretanto, a quantidade total e a marcha de absorção de nutrientes são influenciadas por fatores como o clima, genótipo e sistemas de cultivo. No geral, os nutrientes são absorvidos durante todo o ciclo e as diferenças verificadas nas velocidades de absorção ocorrem em função do ciclo do genótipo e estágio em que se encontra, e na translocação das folhas e dos colmos para os órgãos reprodutivos.

A disponibilidade de nutrientes no solo é uma das principais causas das variações da concentração de nutrientes e capacidade de absorção pelas plantas, seguido de alterações climáticas durante o período de desenvolvimento da cultura e nível tecnológico. Também, as variações encontradas no estado nutricional de plantas podem estar associadas à grande diversidade genética presente nos genótipos atualmente comercializados (FERREIRA, 2009).

FERREIRA (2009), em dois anos de avaliação, constatou que as concentrações de nutrientes de cultivares de milho variam conforme o nível tecnológico, observando que híbridos simples, na primeira safra, e híbridos simples e triplos, na segunda safra, tiveram concentrações mais baixa de N. O aumento no nível tecnológico dos genótipos acarretou na redução da concentração de N, P e K nas folhas e colmos. Com relação ao ano de cultivo foi evidenciado que a concentração dos nutrientes, principalmente N, P e K aumentaram na segunda safra em que a disponibilidade da água foi favorável à absorção dos íons, e conseqüentemente houve uma maior exportação de nutrientes para os grãos comparando com a primeira safra, onde ocorreu um período de seca.

As absorções de N, P, K, Ca e Mg aumentam linearmente com o aumento da produtividade da cultura do milho. De maneira geral, na planta inteira (grãos e palhas), o N é o nutriente absorvido em maior quantidade, seguido em ordem decrescente por K, P, Ca, Mg (VASCONCELLOS et al., 1983; FRANÇA e COELHO, 2001; PAULETTI, 2004; VON PINHO et al., 2009) e por S (VON PINHO et al., 2009).

De outra forma, FERREIRA (2009) em experimento avaliando diferentes genótipos por duas safras consecutivas, encontrou concentrações de macronutrientes extraídos na seguinte ordem: N > K > Mg > Ca > P para a maioria dos híbridos avaliados no primeiro ano de avaliação; K > N > Ca = Mg > P para todas as variedades melhoradas e regionais no primeiro ano de avaliação; N > K > P > Mg > Ca para a maioria dos híbridos avaliados no segundo ano; K > N > P > Mg > Ca para todas as variedades melhoradas e regionais, também no segundo ano de avaliação. O autor ressalta que as alterações morfofisiológicas dos híbridos modernos de milho são responsáveis pelas alterações na dinâmica de absorção do N e a baixa extração de P no primeiro ano de cultivo pode estar relacionada à baixa disponibilidade de água ocorrida, sendo que a água é um fator preponderante para o contato deste nutriente com as raízes.

Com relação ao acúmulo de micronutrientes na cultura do milho, FRANÇA e COELHO (2001) inferem que a extração segue a ordem decrescente: Fe > Zn = Mn > B > Cu > Mo. PAULETTI (2004) ao determinar médias obtidas por vários autores encontrou valores expressos em gramas por megagrama de MS produzida de 233,3; 44,4; 37,8; 18,9; 12,2; 1,0 para Fe, Zn, Mn, B, Cu e Mo, respectivamente. Já COELHO (2006), relata que para uma produção de 9 Mg ha⁻¹ de grãos são extraídos 2.100 g de Fe, 400 g de Zn, 340 g de Mn, 170 g de B, 110 g de Cu e 9 g de Mo.

De acordo com VON PINHO (2009), o crescimento da planta de milho é função linear do tempo, já o acúmulo de MS segue uma curva ligeiramente sigmoide, sendo linear na maior parte do período vegetativo e tornando-se decrescente no período final, quando inicia ligeira diminuição do peso da planta, provavelmente devido à queda de folhas senescentes e lixiviação de K das folhas e dos colmos. Ainda, no geral, a absorção e acúmulo da maior parte dos nutrientes extraídos do solo

seguem quantitativamente a mesma dinâmica de desenvolvimento da planta, portanto, o conhecimento das quantidades e épocas de maior absorção dos nutrientes é fundamental para promover o fornecimento dos nutrientes em quantidades e momentos adequados, visando aumentar a eficiência de utilização dos insumos e produtividade das lavouras.

Na Tabela 1 são apresentados valores médios obtidos de vários trabalhos para a produção de grãos, produção de MS total na fase de maturação, acúmulo dos macronutrientes em kg ha⁻¹, em seguida, a concentração dos macronutrientes na MS para os trabalhos que permitiram o cálculo, a quantidade de macronutrientes extraídos por megagrama de MS acumulada e ao final são contrapostos os resultados de PAULETTI (2004) obtidos de diversos trabalhos.

Conforme dados apresentados na Tabela 1, é possível observar que existe uma grande disparidade na extração de macronutrientes dentre as cultivares testadas pelos autores em diversas regiões, porém, no geral as quantidades de nutrientes extraídos são maiores com o aumento das produtividades de grãos e MS. Os resultados obtidos de sete trabalhos, somando vinte cultivares, apresentaram produtividades médias de 7,59 e 17,87 Mg ha⁻¹ de grãos e MS acumulada respectivamente, as extrações de nutrientes em kg ha⁻¹ seguiram a ordem decrescente de: 184,18 (N); 163,88 (K); 34,10 (Ca); 33,66 (P); 30,57 (Mg); e 26,96 (S). As concentrações médias de nutrientes na MS, para os trabalhos que possuem os dados de produção de MS, foram de 1,08% para N; 0,87% de K; 0,19% de P; 0,18% para Ca e Mg; e 0,11% de S. Também pode-se observar que os valores gerais de extração de nutrientes por megagrama de MS produzida foram inferiores aos encontrados por PAULETTI (2004).

RITCHIE et al. (2003) descrevem que com relação ao N total absorvido pelas plantas, na fase de maturidade fisiológica, aproximadamente 65% encontram-se nos grãos, 20% nas folhas, 6% no colmo, 3% em sabugo, haste e cabelo, 3% nas bainhas das folhas e 3% em palhas e bonecas de inserção mais baixa.

Quanto ao P, aproximadamente 75% ficam concentrados nos grãos, 10% nas folhas, 7% no colmo, 3% em sabugo, haste e cabelo, 3% nas bainhas das folhas e 2% em palhas e bonecas de

inserção mais baixa. Já o K, diferentemente dos outros elementos, a maior concentração está presente na estrutura vegetativa da planta, onde aproximadamente 35% concentram-se nos grãos, 5% nas folhas, 30% no colmo, 10% em sabugo, haste e cabelo, 10% nas bainhas das folhas e 10% em palhas e bonecas de inserção mais baixa na planta.

Tabela 1. Médias de produtividade de grãos e matéria seca total (MS), acúmulo de macronutrientes na parte aérea de cultivares, concentração dos elementos na MS e acúmulo de elementos por megagrama de MS produzida, obtidas pela compilação de diferentes publicações.

Trabalhos	Grãos	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹							
Von Pinho et al. (2009) ¹	14,05	31,25	364,00	84,00	314,00	60,50	42,00	27,00
Duarte et al. (2003) ²	7,70	16,20	204,00	25,00	162,00	24,00	41,00	11,00
Bull (1993) ³	9,10	-	190,00	39,00	196,00	40,00	44,00	21,00
Hiroce et al. (1989) ⁴	4,90	13,50	135,73	22,54	86,24	20,58	22,54	12,74
Vasconcellos et al. (1983) ⁵	5,10	12,10	103,00	19,50	43,50	21,50	13,50	-
Furlani et al. (1977) ⁶	6,80	-	111,52	14,58	127,16	37,40	14,96	57,80
Andrade et al. (1975) ⁷	6,20	16,30	181,04	31,00	218,24	34,72	35,96	32,24
Médias	7,69	17,87	184,18	33,66	163,88	34,10	30,57	26,96
			Concentração (% na MS)					
Média dos Trabalhos ^{1; 2; 4; 5; 7}	7,59	17,87	1,08	0,19	0,87	0,18	0,18	0,11
			Acúmulo de nutrientes (kg Mg⁻¹ de MS)					
			10,78	1,88	8,68	1,77	1,77	1,12
Pauletti (2004) ⁸			20,3	4,3	16,9	3,1	3,0	-

FONTE: Modificado de VON PINHO et al. (2009)

¹Média de duas cultivares GNZ2004 e P 30F33, um com alta capacidade de acúmulo de MS e outro com potencial para produção de grãos, em Lavras - MG.

²Média de cinco cultivares, Palmital - SP.

⁴Média de quatro híbridos comerciais e seis populações, Campinas - SP.

⁵Média respectivas das cultivares BR126 e BR105, com e sem irrigação, Sete Lagoas - MG.

⁶Média das cultivares HS1227 e HS7777, Campinas - SP.

⁷Média de cinco cultivares, Piracicaba - SP.

⁸Média de diversos autores encontrados por Pauletti (2004), expressos em kg Mg⁻¹ de MS acumulada em plantas na fase de maturação.

DUARTE et al. (2003) estudaram as concentrações de nutrientes em colmo, folhas e espigas de cinco cultivares de milho, e concluíram que com o desenvolvimento das espigas houve redução da proporção de nutrientes acumulados nas folhas e nos colmos, expressa como porcentagem do total acumulado na planta, com destaque para N, P, S e Zn. No mesmo estudo, o Ca foi o nutriente acumulado em menor proporção nas espigas, tanto no florescimento como na maturidade fisiológica dos grãos, e o que manteve maior proporção do acúmulo nas folhas no estágio de maturidade fisiológica dos grãos. O colmo constituiu-se no principal compartimento de

acúmulo de K, Mg, Fe e Mn no estágio de maturidade. Folhas e colmos atuam como os principais drenos de N durante a fase de crescimento vegetativo, posteriormente, durante o desenvolvimento reprodutivo atuam principalmente como fonte. Durante a fase reprodutiva ocorre considerável remobilização de fotoassimilados e nutrientes dos órgãos vegetativos acumulados antes do florescimento para prover o desenvolvimento dos grãos.

Segundo COELHO (2006) durante o período de cultivo o milho apresenta períodos onde ocorre intensa absorção de nutrientes do solo, o primeiro ocorrendo durante a fase de desenvolvimento

vegetativo (12 a 18 folhas), quando o número potencial de grãos está sendo definido, e o segundo durante a fase reprodutiva ou formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido.

Estes autores ressaltam ainda que para os elementos N e P o milho apresenta períodos de máxima absorção durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação da espiga, nas fases de emissão do pendão e início da formação da espiga são observadas menores taxas de absorção. Já o K, apresenta uma dinâmica de absorção diferente do N e P, sendo que a máxima absorção ocorre no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, onde a taxa de absorção supera a de N e P, sugerindo maior necessidade de K na fase inicial como um elemento de "arranque".

Complementando, RITCHIE et al. (2003) demonstraram que a absorção de K é completada logo após o florescimento, porém, a absorção dos outros nutrientes essenciais como N e P continua até próximo da maturidade, seguindo a dinâmica de acúmulo de MS. Visto que uma grande parte do N, P e de alguns outros nutrientes é translocada das partes vegetativas da planta para os grãos, pode ocorrer deficiências de nutrientes nas folhas, a menos que as quantidades adequadas de nutrientes estejam disponíveis para as plantas durante este período.

Em outros estudos VON PINHO et al. (2009) observaram em duas cultivares de milho o comportamento linear no acúmulo de N ao longo do ciclo da cultura. Verificaram que para cada dia após a emergência (DAE) o acúmulo de N na MS aumentou em média 2,89 kg ha⁻¹, os híbridos apresentaram pequena acumulação de N nos estádios iniciais, com um incremento significativo ocorrendo aos 44 DAE (8 folhas desdobradas) e um acúmulo crescente e linear até os estádios finais de desenvolvimento. Quanto ao acúmulo de P durante o ciclo, para cada DAE houve acúmulo 0,67 kg ha⁻¹, ocorreu aumento significativo nos totais de P acumulado nos estádios finais, principalmente a partir dos 125 DAE (grãos farináceos). No entanto, o acúmulo de K teve comportamento quadrático durante o ciclo, o acúmulo nas plantas teve um primeiro pico de absorção (282 kg ha⁻¹) por ocasião dos 55 DAE (12 folhas totalmente desdobradas), quando se

verificou um intenso crescimento vegetativo, e um segundo pico de absorção (313 kg ha⁻¹) na maturidade fisiológica (140 DAE), o que gerou máximo acúmulo desse nutriente na planta de milho. Os resultados encontrados para o acúmulo de K contrariam a maioria dos trabalhos realizados, ao encontrar um pico de absorção no final do ciclo.

Ainda no mesmo trabalho, os autores evidenciaram que acumulação de Ca pelas plantas teve comportamento quadrático durante o ciclo, com um primeiro pico de absorção na ocasião do florescimento (60 DAE) e um segundo pico de absorção na maturidade. O acúmulo de Mg nas cultivares apresentou comportamento linear, as quantidades totais de Mg acumuladas nos estádios iniciais foram pequenas, e ocorreu um pequeno incremento aos 44 DAE (8 folhas desdobradas) até o final do florescimento (70 DAE), a partir do 85 DAE (grãos leitosos) houve incremento significativo no acúmulo de Mg, que cresceu de maneira linear até o final do ciclo. A acumulação de S apresentou comportamento linear, o acúmulo de S aumentou pouco até os 71 DAE, sendo que, aos 85 DAE houve um incremento significativo no total acumulado, o máximo acúmulo de S ocorreu aos 125 DAE (grãos farináceos).

A grande variação de resultados encontrados se deve por condições do ambiente de cultivo, genótipos e fertilidade do solo. Segundo FERREIRA (2009) essas alterações nas concentrações podem estar relacionadas à interferência de um nutriente na absorção de outro elemento ou na disponibilidade excessiva do elemento no solo.

Estas concentrações de nutrientes são uma importante ferramenta para o monitoramento de safras de milho e, quando utilizadas em conjunto com o plano de aplicação de nutrientes, podem ampliar os níveis de precisão da fertilização do solo e de plantas. Além disso, em um plano de agricultura sustentável, o balanço de entradas e saídas de nutrientes no sistema e importante para definir a economia da produção e os níveis de fertilidade do solo (HECKMAN et al., 2003).

Exportação de nutrientes via produção de milho forragem

No milho, os nutrientes têm diferentes taxas de translocação entre os tecidos (colmos, folhas e grãos), quanto à exportação dos nutrientes, quando a finalidade é produzir grãos (total de nutrientes

extraídos pela planta/total de nutrientes nos grãos) o P é quase todo translocado para os grãos (77 a 86 %), seguindo-se o N (70 a 77 %), o S (60 %), o Mg (47 a 69 %), o K (26 a 43 %) e o Ca (3 a 7 %). Com base nessas taxas de exportação de nutrientes pelos grãos, nota-se que apesar do componente grão possuir grande concentração da maioria dos elementos retirados do solo, ainda sim, a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo grande parte destes, principalmente K e Ca, contidos na palhada (COELHO, 2006).

RITCHIE et al. (2003) citam que, em média, para cada megagrama de grãos produzido a planta de milho extrai do solo 24,9 kg de N; 5,9 kg de P; 26,7 kg de K; 6,6 kg de Ca; 7,9 kg de Mg; 2,5 kg de S; 66,6 g de Zn; 21 g de B; e 21,2 g de Cu. Considerando um megagrama de grãos produzido, do total extraído do solo pela planta de milho, são exportados para os grãos 15,6 kg de N; 4,8 kg de P; 5,1 kg de K; 0,4 kg de Ca; 2,2 kg de Mg; 1,2 kg de S; 24,4 g de Zn; 3,8 g de B; e 2,1 g de Cu. Os autores concluem que uma grande parte do N e do P absorvidos pela planta é removida nos grãos que são colhidos, mas a maior parte do K absorvido é devolvida ao solo pelas folhas, colmos e outros resíduos da planta, a não ser que essas partes da planta sejam removidas para fazer silagem ou outras formas de alimentação.

PAULETTI (2004) determinou a média da extração e a exportação via grãos de macro e micronutrientes em plantas de milho na fase de maturação com os resultados encontrados por diversos autores, os valores obtidos para extração e exportação respectivamente, expressos em kg Mg⁻¹ para macro e g Mg⁻¹ para micro, foram: N: 20,3 e 15,8; P: 4,3 e 3,8; K: 16,9 e 4,8; Ca: 3,1 e 0,5; Mg: 3,0 e 1,5; S: (extração inexistente) e 1,1; Fe: 233,3 e 11,6; Cu: 12,2 e 1,2; Zn: 44,4 e 27,6; B: 18,9 e 3,2; Mn: 37,8 e 6,1; Mo: 1,0 e 0,6.

KARLEN et al. (1987) nos EUA, obtiveram produção média de 12 Mg ha⁻¹ de grãos e 24 Mg ha⁻¹ de MS na parte aérea e extração de 239, 44 e 232 kg ha⁻¹ de N, P e K respectivamente, e obtiveram relação de 2,0 Mg de massa seca da parte aérea por 1 Mg de grãos. No Brasil, a extração de N por unidade de grãos produzida e o rendimento de grãos na massa área são menores, também o maior acúmulo de MS não está necessariamente relacionado com a produção de grãos (VASCONCELLOS et al., 1983).

VON PINHO et al. (2009), avaliaram duas cultivares de milho, a GNZ2004 com potencial forrageiro apresentou produtividade de 13,5 Mg ha⁻¹ de grãos e 32,9 Mg ha⁻¹ de MS, e a cultivar P 30F33 de potencial granífero teve produtividade de 14,7 Mg ha⁻¹ e 29,7 Mg ha⁻¹ de MS. As acumulações totais de macronutrientes pelas cultivares, respectivamente, seguiram a seguinte ordem decrescente de valores (expressos em kg ha⁻¹): N: 401 e 327; K: 312 e 316; P: 92 e 76; Ca: 61 e 60; Mg: 47 e 37; e S: 30 e 24. Os autores observaram que a cultivar GNZ2004 exporta maiores quantidades de nutrientes por megagrama de grãos produzidos, apesar do menor rendimento de grãos obtido. Para rendimento de MS, o comportamento das cultivares foi o inverso, com a P30F33 exportando maiores quantidades de nutrientes por megagrama de MS produzida. Com isso, conclui-se que a cultivar com características forrageiras, apesar de apresentar menores concentrações de nutrientes na MS, extraiu maiores quantidades de nutrientes do solo devido à compensação pela maior produção de fitomassa.

Existem também outras espécies como o sorgo e a cana-de-açúcar que são largamente exploradas com fins forrageiros, e seguem a mesma problemática levantada quanto à manutenção da sustentabilidade de produção. FRANCO (2011) avaliando duas cultivares de sorgo obteve produção de 18,3 Mg ha⁻¹ de MS para a BRS 610 (forrageiro) e 15,5 Mg ha⁻¹ de MS para a DKB 599 (granífero), observou acúmulos de 288,97 e 318,99 kg ha⁻¹ de N; 48,73 e 61,78 kg ha⁻¹ de P; 331,19 e 251,26 kg ha⁻¹ de K; 104,30 e 83,27 kg ha⁻¹ de Ca; 34,16 e 34,74 kg ha⁻¹ de Mg; 19,82 e 21,78 kg ha⁻¹ de S, respectivamente para as cultivares BRS 610 e DKB 599.

Quando comparamos o acúmulo de nutrientes do sorgo no trabalho de FRANCO (2011) com o acúmulo no milho obtido por VON PINHO et al. (2009), o sorgo apresentou menores produções de MS e extração de nutrientes (N, P, K, Mg e S) por hectare, porém, a extração de todos os nutrientes proporcionalmente a fitomassa produzida foram maiores para a cultura do sorgo, onde na média das cultivares o sorgo apresentou extração de 6,6; 7,1; 0,7; 3,6; 0,7; 0,4 kg Mg⁻¹ a mais que a cultura do milho para N, K, P, Ca, Mg e S respectivamente. Portanto, o milho apresentou maior produção de fitomassa e extração de nutrientes por hectare,

contudo, o sorgo extraiu do solo maior quantidade de nutrientes por megagrama de MS produzida.

OLIVEIRA et al. (2010a), avaliando 11 cultivares de cana-de-açúcar obtiveram rendimento médio de 195 kg ha⁻¹ de colmo, a extração de nutrientes na parte aérea da cana-planta apresentou, em média, valores de 179, 25, 325, 226 e 87 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, o que proporcionou a seguinte ordem decrescente de extração: K > Ca > N > Mg > P. A exportação média de N, P, K, Ca e Mg pelo colmo das variedades irrigadas foi de 92; 15; 188; 187; e 66 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, a 51, 60, 58, 83 e 76 % de todo o nutriente extraído na parte aérea da cana-planta. Para produção de um megagrama de colmo por hectare, foram exigidos pelas variedades, durante o ciclo de cana-planta, valores médios de 0,91; 0,13; 1,71; 1,18; e 0,44 kg de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente.

A diferença entre a quantidade de extração total de nutrientes e a exportação pela colheita de grãos, na maturidade fisiológica, ajuda-nos a ter idéia da proporção a mais de nutrientes que são exportados quando a fitomassa é removida da área para produção de silagem. Porém, salienta-se que os valores não se equiparam quando a lavoura é destinada a ensilagem, pois os teores de nutrientes anteriormente relacionados representam o grão e a fitomassa em estágio de completa maturação fisiológica. É importante lembrar que, segundo NEUMANN et al. (2011), o ponto recomendado

para a colheita das plantas para ensilagem encontra-se no estágio de grãos leitoso a farináceo, estando a fitomassa entre 30 e 35% de MS. Desta forma a relação de exportação de nutrientes é alterada, pois a planta ainda não completou seu pleno desenvolvimento, e como exposto anteriormente ainda estaria extraindo nutrientes do solo.

Entretanto, trabalhos realizados pelos mesmos autores (NEUMANN et al., 2011) comparando pontos de colheita em silagens de milho, com 30 e 40% de MS, demonstram que silagens de estágio de maturação mais elevado (farináceo a duro, 40% de MS) apresentaram melhores desempenho animal e econômico, onde o milho alcança a concretização máxima de seu desenvolvimento quanto ao enchimento dos grãos. Ainda, a modernização dos implementos de corte de forragem e o surgimento de máquinas autopropelidas podem instigar a tendência de se tardar mais o ponto de corte de forragens como o milho, pois as máquinas atuais quando bem conduzidas podem melhorar o padrão de corte das forragens e ainda manter um processamento efetivo de grãos mais secos.

Na Tabela 2 são apresentados valores de exportação de macronutrientes de diferentes níveis de produtividade, tanto para a produção de grãos como para a produção de silagem, bem como as concentrações de nutrientes contidos na massa e a relação de nutrientes extraídos por megagrama de massa produzida.

Tabela 2. Extração média de nutrientes, concentração na massa e extração por megagrama de massa produzida pela cultura do milho destinada á produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividades.

Tipo de exportação	Produção (kg ha ⁻¹)	Nutrientes extraídos ¹ (kg ha ⁻¹)					Concentração (% na massa)					Extração por megagrama de massa produzida (kg Mg ⁻¹)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Grãos	5.800	100	19	95	17	17	1,72	0,33	1,64	0,29	0,29	17,24	3,28	16,38	2,93	2,93
	7.870	167	33	113	27	25	2,12	0,42	1,44	0,34	0,32	21,22	4,19	14,36	3,43	3,18
	9.170	187	34	143	30	28	2,04	0,37	1,56	0,33	0,31	20,39	3,71	15,59	3,27	3,05
	10.150	217	42	157	32	33	2,14	0,41	1,55	0,32	0,33	21,38	4,14	15,47	3,15	3,25
Silagem (MS)	11.600	115	15	69	35	26	0,99	0,13	0,59	0,30	0,22	9,91	1,29	5,95	3,02	2,24
	15.310	181	21	213	41	28	1,18	0,14	1,39	0,27	0,18	11,82	1,37	13,91	2,68	1,83
	17.130	230	23	271	52	31	1,34	0,13	1,58	0,30	0,18	13,43	1,34	15,82	3,04	1,81
	18.650	231	26	259	58	32	1,24	0,14	1,39	0,31	0,17	12,39	1,39	13,89	3,11	1,72

FONTE: Modificado de COELHO e FRANÇA (1995) citado por COELHO (2006).

¹Para converter P em P₂O₅; K em K₂O; Ca em CaO e Mg em MgO, multiplicar por 2,29; 1,20; 1,39 e 1,66; respectivamente.

O exemplo demonstrado por COELHO (2006) ajuda a esclarecer as relações de extração de nutrientes de lavouras destinadas à produção de silagem ou colheita de grãos, e devido à grande variação entre os níveis de exportação, a apresentação de valores em concentração de nutrientes na fitomassa (% na MS da fitomassa) e extração para cada megagrama de MS produzida contribuem para melhor compreensão dos resultados. Porém, os respectivos valores de exportação por níveis de produção para grãos ou silagem não podem ser relacionados, pois provêm de lavouras diferentes, ou seja, a lavoura que produziu 11,6 Mg de MS de silagem não é a mesma que produziu 5,8 Mg de grãos, deduzido devido aos níveis de P e K informados.

Esta é outra questão importante que deve ser melhor estabelecida, pois, para obtermos a relação exata entre a diferença da exportação pela silagem e a exportação pela colheita dos grãos deve-se analisar os teores de nutrientes das massas produzidas (grãos ou fitomassa) da mesma lavoura e em seus exatos pontos de colheita.

De acordo com a Tabela 2, o nutriente de maior impacto quando comparamos o tipo de exportação é o K, para a produção de grãos ocorre uma extração entre 95 a 157 kg ha⁻¹ de K. No entanto, quando se produz silagem a exportação observada foi de até 259 kg ha⁻¹ de K, fator que pode levar ao desgaste precoce do solo quanto a esse nutriente

(COELHO, 2006). Levando em consideração esta problemática, JAREMTCHUK et al. (2006) avaliaram a exportação de K em 5 cultivares de milho colhidas em duas alturas de corte para a produção de silagem, 20 e 40 cm do solo, verificou que a extração de K oscilou entre 52,95 e 74,05 e entre 47,53 e 59,06 kg ha⁻¹ para as alturas de 20 e 40 cm respectivamente. A elevação na altura de corte reduziu em média 19,15% a extração de K, o qual deverá retornar para o solo.

OLIVEIRA et al. (2010b), com o objetivo de avaliar a produção e extração de nutrientes de diferentes forrageiras, implantaram um experimento com as culturas do milho, sorgo-sudão, sorgo forrageiro e girassol e obtiveram produções de 21,0, 19,6, 23,1, 15,9 Mg ha⁻¹ de MS respectivamente. Os valores de exportação para a cultura do milho foram de 199,3 kg ha⁻¹ de N; 28,9 kg ha⁻¹ de Ca; 33,1 kg ha⁻¹ de P; 208,1 kg ha⁻¹ de K; 26,5 kg ha⁻¹ de Mg; e 11,2 kg ha⁻¹ de Na. Comparativamente, a cultura de girassol extraiu a maior quantidade de Ca (136,9 kg ha⁻¹), K (380,5 kg ha⁻¹) e Mg (54,5 kg ha⁻¹), enquanto o sorgo-sudão apresentou a maior extração de P (46,1 kg ha⁻¹), a extração de N não diferiu entre as culturas apresentando média de 206,2 kg ha⁻¹. Os autores concluíram que as culturas de milho e sorgo forrageiro apresentam maior produtividade de MS por área, já a extração de minerais é maior na cultura de girassol.

Considerações gerais

O cultivo do milho para a produção de forragem promove maior exportação de nutrientes do solo quando comparado com a colheita apenas de grãos, além de que os níveis de exportação são altamente dependentes de variáveis como clima, genótipo, características de cultivo e níveis de produção obtida.

De maneira geral, a colheita para forragem extrai do solo potássio e nitrogênio em maiores quantidades, seguidos por cálcio, magnésio e

fósforo respectivamente, porém, quando se colhe apenas os grãos ocorre maiores exportações de nutrientes na ordem decrescente de nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio e magnésio. Contudo, apesar do alto potencial de produção de fitomassa e conseqüentemente extração de nutrientes, o milho não necessariamente é a espécie forrageira que promove maior esgotamento de nutrientes do solo por unidade de fitomassa produzida.

Referencias

COELHO, A.M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. (Circular Técnica,78).

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

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

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

FRANÇA, G.E.; COELHO, A.M. Adubação do milho para silagem. In: CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; RODRIGUES, J.A.; FERREIRA, J.J. (Ed.). **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. p.53-83.

FRANCO, A.A.N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semi-Árido, Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, Janaúba, 2011. 74f.

HECKMAN, J.R.; SIMS, J.T.; BEEGLE, D.B. et al. Nutrient removal by corn grain harvest. **Agronomy Journal**, v.95, p.587-591, 2003.

JAREMTCHUK, A.R.; COSTA, C.; MEIRELLES, P.R.L. et al. Produção, composição bromatológica e extração de potássio pela planta de milho para silagem colhida em duas alturas de corte. **Ciência Agrônômica**, v.28, n.3, p.351-357, 2006.

KARLEN, D.L. SADLER, E.J.; CAMP, C.R. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk Loamy Sand. **Agronomy Journal**, v.79, p.649-656, 1987.

MARTIN, T.N.; PAVINATO, P.S.; SILVA, M.R. et al. Fluxo de nutrientes em ecossistemas de produção de forragens conservadas. In: **Anais Simpósio: Produção e Utilização de Forragens Conservadas**, 4, Maringá: Sthampa, 2011. p.173-220.

NEUMANN, M.; OLIVEIRA, M.R.; ZANETTE, P.M. et al. Aplicação de procedimentos técnicos na ensilagem do milho visando maior desempenho animal. In: **Anais Simpósio: Produção e Utilização de Forragens Conservadas**, 4, Maringá: Sthampa, 2011. p.95-130.

NUSSIO, L.G. Milho e sorgo para produção de silagem. In: SANTOS, F.A., NUSSIO, L.G., SILVA, S.C. (Eds.). **Volúmosos para bovinos**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.75-177.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, R.I. et al. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1343-1352, 2010a.

OLIVEIRA, L.B.; PIRES, A.J.V.; VIANA, A.E.S. et al. Produtividade, composição química e características agrônômicas de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.12, p.2604-2610, 2010b.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2.ed. Castro: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica e Agropecuária, 2004. 86p.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Potafos: Arquivo do Agrônomo, n.15, 2003. 20p. (Informações Agrônômicas, n.103).

SILVA, J.C.P.M.; MOTTA, A.C.V.; PAULETTI, V. et al. Esterco de gado leiteiro associado a adubação mineral e sua influência na fertilidade de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.453-463, 2010.

Ueno et al. (2011)

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

VASCONCELLOS, C.A; PEREIRA FILHO, I.A; CRUZ, J.C. **Adubação para milho verde**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 6p. (Circular Técnica,17).

VELHO, J.P.; MÜHLBACH P.R.F.; NÖRNBERG, J.L. et al. Composição bromatológica de silagens de milho produzidas com diferentes densidades de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1532-1538, 2007.

VOISIN, A. **Adubos - Novas leis científicas de sua aplicação**. São Paulo: Mestre Jou, 1973. 130 p.

VON PINHO, R.G.; BORGES, I.D.; ANDRADE, J.L. et al. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, p.157-173, 2009.