



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS**

**MARCA DE ABSORÇÃO E ACÚMULO  
DE NUTRIENTES NA CULTURA DO  
SORGO**

**ANTÔNIO AUGUSTO NOGUEIRA FRANCO**

**2011**

**ANTÔNIO AUGUSTO NOGUEIRA FRANCO**

**MARCHA DE ABSORÇÃO E ACÚMULO DE  
NUTRIENTES NA CULTURA DO SORGO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual de Montes  
Claros, como parte das exigências  
do Programa de Pós-Graduação em  
Produção Vegetal no Semiárido,  
área de concentração em Produção  
Vegetal, para obtenção do título de  
“Mestre”.

**Orientador**  
**Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo**

**JANAÚBA**  
**MINAS GERAIS – BRASIL**  
**2011**

F825m Franco, Antônio Augusto Nogueira.  
Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na  
cultura do sorgo. [manuscrito] / Antônio Augusto  
Nogueira Franco. – 2011.

74 p.

Dissertação (mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Produção  
Vegetal no Semi-Árido, Universidade Estadual de  
Montes Claros-Unimontes, 2011.  
Orientador: Profº. D.Sc. Marcos Koiti Kondo.

1. Adubação. 2. Nutrientes. 3. Sorgo. 4. *Sorghum bicolor*. I.

**ANTÔNIO AUGUSTO NOGUEIRA FRANCO**

**MARCHA DE ABSORÇÃO E ACÚMULO DE NUTRIENTES NA  
CULTURA DO SORGO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “Mestre”.

**APROVADA em 01 de fevereiro de 2011.**

Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo  
(Orientador)

Prof. Dr. Iran Dias Borges  
(Coorientador - UFSJ)

Prof. Dr. Ignacio Aspiazú  
(Coorientador - UNIMONTES)

Prof. Dr. Abner José de Carvalho  
(Coorientador - UNIMONTES)

**JANAÚBA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011**

*Ao Deus Maravilhoso e Eterno;  
Aos meus amados pais, Domicio e Neidinha;  
Aos meus irmãos, Thiago e Ceio;  
À minha querida vovozinha;  
Ao saudoso tio Bernardo.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por ser o grande arquiteto de todas as coisas concedendo-me o dom mais precioso do universo: a Vida. Já por isso seria infinitamente grato. Em especial neste momento, por permitir a concretização de tornar-me mestre em Agronomia;

Aos meus amados pais, Domício e Neide, pelo apoio incondicional, amor, carinho, presença, incentivo e confiança sempre;

Aos meus irmãos, Thiago e Ceio, pelas alegrias e sorrisos compartilhados;

À Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, pela sua competência enquanto instituição;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio financeiro para a execução deste projeto (CAGAPQ-01565-08).

À CAPES, pela concessão da bolsa que contribuiu para o bom aproveitamento do curso.

Aos professores Iran Dias Borges e Marcos Koiti Kondo por toda orientação, ensinamentos, compreensão, amizade e confiança demonstrados ao longo desses anos de trabalho e convivência;

Ao tio Bernardo, pelo incentivo, competência, humildade, ajuda e apoio sempre;

Aos meus colegas da república NOSTRAVAMOS, pela relação de cumplicidade e respeito, por terem tornado a jornada enriquecedora e menos árdua, fica a certeza de que jamais os esquecerei.

## SUMÁRIO

	<b>Páginas</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	iv
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	vi
<b>RESUMO.....</b>	vii
<b>ABSTRACT.....</b>	viii
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	9
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	11
2.1 A cultura do sorgo no Brasil.....	11
2.2 Fenologia do sorgo.....	12
2.3 Nutrição mineral do sorgo.....	15
2.3.1 Macronutrientes.....	15
2.3.2 Micronutrientes.....	20
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	23
3.1 Caracterização da área experimental.....	23
3.2 Material genético.....	24
3.3 Delineamento estatístico e tratamentos.....	24
3.4 Implantação e condução do experimento.....	25
3.5 Características avaliadas.....	28
3.6 Análises estatísticas.....	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	31
4.1 Acúmulo de matéria seca.....	31
4.2 Acúmulo de macronutrientes.....	39
4.3 Acúmulo de micronutrientes .....	54
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	65
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	66

## LISTA DE TABELAS

	<b>Páginas</b>
<b>01</b> Características dos híbridos de sorgo a serem utilizados no experimento.....	24
<b>02</b> Caracterização dos estádios fenológicos, época de coleta das plantas em dias após a emergência (DAE) e partes analisadas para determinação dos teores de nutrientes nas plantas de sorgo. Janaúba, MG, 2011.....	25
<b>03</b> Resultado da análise química de amostras de solo (0-20 cm) da área onde foi conduzido o experimento de primavera – verão. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	26
<b>04</b> Resumos da análise de variância (quadrados médios) dos dados relativos à altura de plantas, acúmulo de matéria seca total (MS), N, P, K, Ca, Mg e S, na parte aérea considerando dois híbridos de sorgo (H), em função dos estádios fenológicos da cultura (EST). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	32
<b>05</b> Altura de planta em cm, considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	34
<b>06</b> Acúmulo de matéria seca total em kg ha <sup>-1</sup> , considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	37
<b>07</b> Valores médios de acúmulo de N, P, Mg e S, em kg ha <sup>-1</sup> , considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	40
<b>08</b> Acúmulo de K e Ca, em kg ha <sup>-1</sup> , em função de híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), e estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	40
<b>09</b> Valores médios de acúmulo de N, P, Mg e S em kg ha <sup>-1</sup> , considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos híbridos. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.	41
<b>10</b> Valores médios de acúmulo de em kg ha <sup>-1</sup> , considerando o desdobramento da interação de dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	42
<b>11</b> Equações de regressão do acúmulo de macronutrientes em plantas de sorgo em função do tempo decorrido após a emergência.....	43



<b>12</b> Ponto da taxa máxima de acúmulo diário ( $X_{TMAD}$ , DAE), taxa máxima de acúmulo diário (TMAD, $kg\ dia^{-1}$ ) de macronutrientes e ponto de curvatura mínimo ( $PC_{min}$ , dias) e máxima ( $PC_{max}$ , dias).....	46
<b>13</b> Rendimentos de matéria seca de grãos, matéria seca total e acúmulo de macronutrientes na parte aérea de dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	48
<b>14</b> Teores de N, P, K, Ca, Mg e S, em porcentagem (%), nas diferentes partes da planta de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	51
<b>15</b> Resumos das análises de variância (quadrados médios) dos dados relativos a acúmulo de Fe, Zn, Cu, Mn e B, na parte aérea, considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	54
<b>16</b> Valores médios de acúmulo de Fe, Zn, Cu, Mn e B em $kg\ ha^{-1}$ , considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011	55
<b>17</b> Valores médios de acúmulo de Fe, Zn, Cu, Mn e B em $kg\ ha^{-1}$ , considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos híbridos. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	56
<b>18</b> Ponto da taxa máxima de acúmulo diário ( $X_{TMAD}$ ), taxa máxima de acúmulo diário (TMAD, $g\ dia^{-1}$ ) de micronutrientes e ponto de curvatura mínimo ( $PC_{min}$ , dias) e máxima ( $PC_{max}$ , dias).....	57
<b>19</b> Equações de regressão de micronutrientes em plantas de sorgo em função do tempo decorrido após a emergência.....	59
<b>20</b> Rendimentos de matéria seca de grãos, matéria seca total e acúmulo de micronutrientes na parte aérea de dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	60
<b>21</b> Teores de Fe, Zn, Cu, Mn e B, em porcentagem (%), nas diferentes partes da planta de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	62

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
<b>01</b> Dados médios de temperatura, em graus Celsius (°C), e precipitação pluvial acumulada por decêndio, em milímetros (mm), em Janaúba-MG, de 10/11/2009 a 19/03/2010. Dados obtidos na Estação Climatológica da EPAMIG, Nova Porteirinha, MG, 2011.....	23
<b>02</b> Altura de plantas, em cm, dos híbridos BRS610 (forrageiro) e DKB599 (granífero) em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	35
<b>03</b> Acúmulo de matéria seca total, em kg ha <sup>-1</sup> , dos híbridos BRS610 (forrageiro) e DKB599 (granífero) em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	38
<b>04</b> Marcha de absorção de N, K e Ca em kg ha <sup>-1</sup> , do híbrido forrageiro BRS 610 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	44
<b>05</b> Marcha de absorção de P, Mg e S, em kg ha <sup>-1</sup> , do híbrido forrageiro BRS 610 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	44
<b>06</b> Marcha de absorção de N, K e Ca em kg ha <sup>-1</sup> , do híbrido granífero DKB 599 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	45
<b>07</b> Marcha de absorção de P, Mg e S, em kg ha <sup>-1</sup> , do híbrido granífero DKB 599 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	45
<b>08</b> Marcha de absorção de Fe, Zn, Cu, Mn e B, em kg ha <sup>-1</sup> , do híbrido forrageiro BRS610 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	58
<b>09</b> Marcha de absorção de Fe, Zn, Cu, Mn e B, em kg ha <sup>-1</sup> , do híbrido granífero DKB 599 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.....	58

## RESUMO

FRANCO, Antônio Augusto Nogueira. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.<sup>1</sup>

Com o objetivo de determinar a marcha de absorção de nutrientes e o acúmulo de matéria seca nas diferentes partes de plantas de sorgo, em função dos estádios fenológicos da cultura, foi conduzido um experimento em condições de campo, na fazenda experimental da UNIMONTES, Janaúba - MG, sob sistema convencional de cultivo, utilizando dois híbridos de sorgo, um granífero (DKB 599) e outro forrageiro (BRS 610). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, e tratamentos dispostos num esquema fatorial 9 x 2, no qual o primeiro fator constituiu-se pelas épocas de coleta (T1 = 3 folhas; T2 = 5 folhas; T3 = 7 folhas; T4 = Diferenciação floral; T5 = 80 % Área foliar; T6 = Folhas totalmente expandidas; T7 = Liberação de pólen; T8 = Grãos leitosos/pastosos e T9 = Camada negra) e o segundo fator constituiu-se pelos híbridos. Os resultados foram submetidos à análise de variância, e para as diferenças significativas, identificadas pelo teste F ( $P < 0,05$ ), foram ajustados modelos de regressão e aplicado o teste Scott-Knott. Depois de colhido, o material vegetal foi separado em caules, folhas, grãos e panícula. Posteriormente as partes vegetais foram lavadas em água corrente e destilada, secas em estufa de circulação forçada a 65 °C, até peso constante, determinada a matéria seca e moídas. Em seguida, as amostras foram enviadas para a realização das determinações químicas (análises foliares). Foi calculado o acúmulo de cada nutriente em cada parte da planta por meio da relação do teor do nutriente nas mesmas pela matéria seca de cada parte e posteriormente, os valores obtidos foram transformados para  $\text{kg ha}^{-1}$ . Os acúmulos de matéria seca, macro e micronutrientes em função dos estádios fenológicos da cultura do sorgo seguiram o modelo sigmoidal durante o ciclo da cultura, sendo que as máximas quantidades acumuladas foram obtidas na maturidade fisiológica. As plantas de sorgo forrageiro e granífero, respectivamente, acumularam nutrientes em sua parte aérea nas seguintes ordens decrescentes:  $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$  e  $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$ . As maiores concentrações de K e N foram observadas, respectivamente, nos caules e nos grãos. O Mn e o Fe foram os micronutrientes acumulados em maior quantidade na parte aérea das plantas de sorgo, seguido pelo B, Zn e Cu; entretanto, o Zn e o Cu foram os micronutrientes mais exportados. Para as condições de condução do experimento, a época mais propícia para realizar adubação nitrogenada e potássica em cobertura é de 25 e 20 DAE, respectivamente, para os híbridos BRS610 e DKB599.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, adubação, crescimento, BRS610 e DKB599.

---

<sup>1</sup> **Comitê de Orientação:** Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Orientador); Prof. Dr. Iran Dias Borges- UFSJ (Coorientador); Prof. Dr. Ignacio Aspiazú – UNIMONTES (Coorientador); Prof. Dr. Abner José de Carvalho – UNIMONTES (Coorientador).

## ABSTRACT

FRANCO, Antônio Augusto Nogueira. **Uptake and accumulation of nutrients in sorghum**. 2011. Dissertation (Master's degree in Plant Production in the Semi-arid) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG<sup>1</sup>.

This study aimed to determine the uptake of nutrients and dry matter accumulation in different sorghum shoots, depending on growth stages in culture. It was carried out a field experiment, at the experimental farm of UNIMONTES, Janaúba - MG, under the conventional tillage, using two sorghum hybrids, a grain (DKB 599) and other forage (BRS 610). It was used a randomized blocks design with four replications and treatments arranged in a 9 x 2 factorial scheme, in which the first factor was collection times (T1 = 3 leaves, T2 = 5 leaves, T3 = 7 leaves T4 = floral differentiation, T5 = 80 % leaf area, T6 = fully expanded leaves, T7 = pollen release, T8 = milky grains / pasty and T9 = black layer) and the second factor was composed of the hybrids. The results were subjected to variance analysis, and significant differences were identified by F test ( $P < 0.05$ ), regression models were adjusted and applied the Scott-Knott test. The harvested plant material was separated into stems, leaves, grains and panicles. Later the plant parts were cleaned in distilled water, dried in a forced air circulation chamber at 65 °C until constant weight, it was determined and milled the dry matter. After that, the samples were sent to carry out chemical analysis (leaf analysis). It was calculated the accumulation of each nutrient for each part of plant by the relation of the nutrient content in the dry matter of each part and then the values were transformed to  $\text{kg ha}^{-1}$ . The accumulation of dry matter, macro and micronutrients in relation to the phenological stages of sorghum followed sigmoidal model during the crop cycle, being that the maximum accumulated quantities were obtained at physiological maturity. The plants of forage sorghum and grain respectively accumulated nutrients in shoot in the following descending order:  $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$  and  $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$ . The highest concentrations of K and N respectively were observed in stems and grains. Manganese and iron were the micronutrients accumulated in larger amounts in the sorghum shoots, followed by boron, zinc and copper; however, Zn and Cu were the most exported micronutrients.. For the conditions of the experiment, the best time to perform nitrogen and potassium fertilization in coverage is at 25 and 20 DAE, respectively, to the hybrids BRS610 DKB599.

Keywords: *Sorghum bicolor*, fertilization, growth, BRS610, DKB599.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do sorgo se destaca pela rusticidade, elevada produção de biomassa e pela grande tolerância ao déficit hídrico. Essas características, associadas à sua grande eficiência energética, permitem o cultivo do sorgo em zonas áridas e semiáridas, com produção em diferentes épocas e regiões, garantindo certa perenidade na oferta de matéria-prima, motivo que tem favorecido a expansão da área plantada no Brasil, principalmente como alternativa de diversificação agrícola em regiões de baixa pluviosidade.

O seu cultivo tem assumido destaque em substituição ao milho como suplemento energético, trazendo grandes vantagens econômicas ao produtor. Consiste em uma das culturas alimentares mais versáteis e mais eficientes, tanto do ponto de vista fotossintético, como em velocidade de maturação. Entretanto, com todo esse potencial, a produção do sorgo ainda é pequena, necessitando-se de esforço no sentido de difundi-la e incentivá-la, sobretudo, por meio do incremento em sua produtividade que depende, dentre outros fatores, da nutrição mineral.

No mercado brasileiro estão disponíveis diversas cultivares de sorgo, sendo que as exigências, como, por exemplo, as nutricionais, são variáveis. Assim, o conhecimento de qual nutriente a planta necessita, da quantidade e do momento adequado para o seu fornecimento, constituem condições fundamentais para o equilíbrio nutricional da planta para a expressão máxima do seu potencial genético.

A escassez de informações quanto a essas exigências nutricionais de híbridos de alto potencial produtivo para as condições tropicais brasileiras justificam a realização de estudos que contemplem esses genótipos quanto às suas exigências nutricionais. Os poucos trabalhos de pesquisa conduzidos sobre o assunto foram realizados há muitos anos e contemplam cultivares muito diferentes das atualmente utilizadas pelos agricultores.

O estudo da marcha de absorção de nutrientes e do acúmulo de matéria seca em função dos estádios fenológicos da cultura do sorgo é de fundamental importância para subsidiar estratégias de definição das quantidades e das épocas de realização de adubações na cultura, e das quantidades mínimas que devem ser restituídas ao solo para fins de manutenção da fertilidade. Isso contribuirá para o aumento da eficiência no manejo da cultura, proporcionando ganhos em produtividade e redução de custos na lavoura, pela utilização racional e eficiente dos insumos e do solo.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi determinar a marcha de absorção de nutrientes e o acúmulo de matéria seca de dois híbridos de sorgo, um forrageiro e um granífero, conduzidos com irrigação suplementar, na região Norte de Minas Gerais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura do sorgo no Brasil

O sorgo é a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em cerca de 30 países. Somente arroz, trigo, milho e batata o superam em termos de quantidade de alimento consumido. Essa planta (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um produto da intervenção do ser humano, que domesticou a espécie e, ao longo de gerações, vem transformando-a para satisfazer as necessidades humanas. É uma extraordinária fábrica de energia, de enorme utilidade em regiões muito quentes e muito secas, onde não se conseguem boas produtividades de grãos ou de forragem cultivando outras espécies, como o milho (RIBAS, 2009).

A demanda por grãos no Brasil cresce sistematicamente e mais de 95% dessa demanda é, atualmente, atendida pela cultura do milho. Por outro lado, mesmo com o significativo aumento nas safras brasileiras de milho, ainda há dificuldades para o atendimento a essa demanda em expansão, tendo em vista o crescimento dos setores da avicultura, da suinocultura e da bovinocultura. Como consequência, espera-se um aumento nas importações do produto, onerando os custos de produção de carnes, uma vez que, apesar do menor preço do milho no mercado internacional, os custos de frete e a incidência de taxas no milho importado tornam-no mais caro na ponta do consumo (COELHO *et al.*, 2002).

Uma parte da demanda brasileira de grãos, estimada entre 10 e 20 %, pode ser atendida com maior economicidade com a cultura do sorgo. Os setores da avicultura e da suinocultura, principais consumidores, que apresentam margem de lucro muito estreita em decorrência dos altos custos de produção e baixos preços obtidos na comercialização de seus produtos, poderão reduzir significativamente seus gastos, beneficiando-se da menor cotação do sorgo, estimada entre 20 e 30 % inferior à do milho. Além disso, o sorgo forrageiro, com aproximadamente 40 % do total da área de sorgo

cultivada, sinaliza para que a bovinocultura possa se tornar, em curto prazo, o grande mercado consumidor para forragem e grãos de sorgo, proporcionando incentivo à consolidação da cultura no país (COELHO *et al.*, 2002).

No Brasil, o cultivo do sorgo está se popularizando e já somos um dos 10 maiores produtores mundiais. Entretanto, a produtividade de sorgo no Brasil ainda é baixa, quando se compara a média de 2340 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2010) com as produtividades médias de 4300 e 4200 kg ha<sup>-1</sup> produzidas em países como os EUA e Argentina, respectivamente (DUARTE, 2003).

Cabe mencionar que as produtividades médias do sorgo granífero no Brasil variam, de acordo com o ambiente de cultivo e a tecnologia adotada, de 0,75 a 5 t ha<sup>-1</sup>, sendo que o potencial produtivo é de 12 t ha<sup>-1</sup>. Da mesma forma, as produtividades médias do sorgo forrageiro variam de 8 a 18 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca, com potencial produtivo de 25 t ha<sup>-1</sup> (ZAGO & GUIMARÃES, 2008).

Dentre as principais causas desta realidade pode-se citar a má distribuição pluviométrica em algumas regiões produtoras nas épocas de cultivo, o baixo consumo de fertilizantes e corretivos, aliados a uma inadequada fertilização (PINHO & VASCONCELOS, 2002). Pouco se sabe sobre os padrões de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo.

Ao mesmo tempo, o incremento considerável na produção de sorgo em terras brasileiras deve-se, em muito, à introdução de cultivares de alta produtividade e, aliadas a isso, práticas de manejo adequadas aos mesmos. Diversos são os materiais genéticos e tipos de sorgo apresentados atualmente pelo mercado, sendo que as exigências, por exemplo, as nutricionais, de cada material são variáveis.

## **2.2 Fenologia do sorgo**

O sorgo é uma planta C4, de dias curtos, com altas taxas fotossintéticas, de clima quente, apresentando características xerófilas e



mecanismos eficientes de tolerância à seca (BELLO, 1997). Possui variedades adaptadas a diferentes zonas climáticas, tolerando mais o déficit de água e o excesso de umidade no solo, do que a maioria dos outros cereais, podendo ser cultivada numa ampla faixa de condições (LANDAU & SANS, 2009). Aguiar *et al.* (2007) observaram que boas produtividades foram obtidas com precipitação acima de 900 mm durante o ciclo, embora se saiba que a demanda hídrica do sorgo varia de 380 a 600 mm, dependendo de outros fatores climáticos.

Basicamente, seu ciclo fenológico pode ser dividido em três fases: a vegetativa, a reprodutiva e o período de maturação dos grãos. A fase vegetativa, etapa de crescimento 1 (EC1), caracteriza-se pela germinação, aparecimento da plântula, crescimento das folhas e estabelecimento do sistema radicular fasciculado. A segunda fase, EC2, começa quando o meristema apical se diferencia em meristema floral, que continua com o desenvolvimento da inflorescência e vai até a antese. Durante essa fase há uma elongação rápida dos entrenós do colmo e grande expansão das folhas. Finalmente, a terceira fase, EC3, se caracteriza pela maturação dos grãos e senescência das folhas (PINHO & VASCONCELOS, 2002).

Durante a EC1, a planta tem um crescimento inicial lento, e um controle ineficiente de plantas daninhas nesta fase pode reduzir seriamente o rendimento de grãos. Na fase seguinte (EC2), aproximadamente aos trinta dias após o começo da embebição, a planta está com uma altura entre 30 e 40 cm. O aparecimento do primórdio floral indica o final do crescimento vegetativo, em função da atividade meristemática. A partir de então, as células irão crescer em número e tamanho. Nessa fase, a absorção de nutrientes é intensa, e é quando ocorre o maior acúmulo de matéria seca. Também, nessa fase ocorre um grande crescimento do sistema radicular e as folhas crescem mais rapidamente, conferindo maior capacidade de competição com as plantas daninhas. Finalmente, na EC3, os fatores considerados mais importantes são aqueles relacionados ao enchimento de grãos. O primeiro período de maturação do grão é conhecido como grão

leitoso passando para a fase de grão pastoso, quando o acúmulo de matéria seca é muito rápido. Durante as três etapas de crescimento, a fotossíntese, o particionamento de fotoassimilados e a divisão e expansão celular devem estar ajustados visando a um bom rendimento da cultura. É lógico pensar que o rendimento final é função tanto da duração do período de enchimento de grãos como da taxa de acumulação de matéria seca diária (MAGALHÃES *et al.*, 2009).

Dessa forma, entender o ciclo fenológico do sorgo baseando-se apenas na sua idade, normalmente expressa em dias após o plantio (D.A.P.) ou em dias após a emergência (D.A.E.), pode levar a equívocos de interpretação tendo em vista a variação que as cultivares podem ter quanto ao tempo para a ocorrência de eventos fisiológicos na planta, como a emissão de folhas, o florescimento e as alterações na consistência dos grãos. O ciclo da cultura pode ser dividido em estádios distintos de desenvolvimento, o que facilita o manejo e o estudo, pois possibilita o estabelecimento de correlações entre elementos fisiológicos, climatológicos, fitogenéticos, entomológicos, fitopatológicos e fitotécnicos com o desempenho da planta (BORGES, 2006).

A divisão entre os estádios é determinada pela ocorrência de eventos fisiológicos na planta como o surgimento de folhas totalmente expandidas (limbo, bainha e aurícula evidentes), diferenciação de meristemas, aparecimento das estruturas reprodutivas e consistência dos grãos. A utilização desse sistema de divisão dos estádios fenológicos como referência na definição das épocas de realização de tratamentos culturais elimina erros de interpretação que as cultivares e as condições edafoclimáticas poderiam induzir na definição do tempo de duração de cada estágio (FANCELLI, 2000).

Ritchie *et al.* (2003) afirmam que o produtor precisa entender como ocorrem o crescimento e o desenvolvimento das plantas, e que aquele que conhece bem o desenvolvimento das plantas pode usar práticas de produção

mais eficientes para obter maiores produtividades e, conseqüentemente, maiores lucros.

### **2.3 Nutrição mineral do sorgo**

A escassez de informações quanto às exigências nutricionais de cultivares de alto potencial produtivo justifica a realização de estudos que contemplem estes materiais genéticos, quanto a essas exigências (quanto e quando aplicar de determinado nutriente). Isso contribuirá para aumentar a eficiência no manejo da adubação, o que possibilitará aumento na produção e redução de custos na lavoura, pela utilização mais racional e eficiente dos fertilizantes e do solo (BORGES, 2006).

É importante ressaltar que, nos últimos anos, a agricultura brasileira, de um modo geral, vem passando por importantes mudanças tecnológicas resultando em aumentos significativos da produtividade e produção. Dentre essas tecnologias destaca-se a conscientização dos agricultores da necessidade da melhoria na qualidade dos solos, visando a uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos está geralmente relacionada ao manejo adequado, os quais incluíram entre outras práticas, a rotação de culturas, o plantio direto e o manejo da fertilidade por meio da calagem, gessagem e adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos e/ou orgânicos (estercos, compostos, adubação verde, entre outros) (MALAVOLTA & DANTAS, 1987).

#### **2.3.1 Macronutrientes**

Informações sobre extração de nutrientes pelo sorgo em diferentes níveis de produtividade devem ser tomadas como referência para definição do manejo da fertilidade do solo, visando melhor explorar o potencial produtivo das cultivares atualmente disponíveis aos produtores. Ao contrário do que muitos pensam, a característica de rusticidade do sorgo não significa

que a planta não precisa de nutrientes ou não responda à adubação. À semelhança de outras culturas anuais, o sorgo pode apresentar grande exigência nutricional, sobretudo quando se busca alta produtividade. Comparativamente à colheita apenas dos grãos, a colheita das plantas inteiras para uso como forragem promove intensa remoção de nutrientes das áreas de cultivo, com destaque para a elevada exportação de nitrogênio (N) e potássio (K) (REZENDE *et al.*, 2009).

Cantarella *et al.* (1996), estudando a extração de macronutrientes pela cultura do sorgo, concluíram que para a produção de uma tonelada de grãos são exportados 17 kg N; 4 kg P; 5 kg K e 1,2 kg S. Entretanto, para a planta inteira, observaram que para cada tonelada de grãos são exportados respectivamente 30; 6; 23 e 2,7 kg de N, P, K e S. Em outro estudo semelhante, porém com micronutrientes, Malavolta (1986) observou que para cada tonelada de grãos produzidos são extraídos, pelas plantas inteiras de sorgo, 100 g de B; 73 g de Cu; 1.893 g Fe; 340 g Mn; 2,67 g Mo e 162 g Zn.

As necessidades nutricionais do sorgo, assim como de qualquer planta, são determinadas pelas quantidades totais de nutrientes absorvidos. O conhecimento dessas quantidades permite estimar as taxas que serão exportadas por meio da colheita dos grãos ou da forragem e as que poderão ser restituídas ao solo por meio dos restos culturais. Dessa forma, a disponibilidade de nutrientes deve estar sincronizada com o requerimento da cultura, em quantidade, forma e tempo (BULL & CANTARELLA, 1993). Assim, um programa racional de adubação deve envolver, principalmente, o requerimento nutricional de acordo com a finalidade de exploração, grãos ou forragem; os padrões de absorção e o acúmulo dos nutrientes, principalmente N e K (BULL, 1993).

O requerimento nutricional varia diretamente com o potencial de produção. Pitta *et al.* (2001), estudando a extração média de nutrientes pela cultura do sorgo em diferentes níveis de produtividade, verificaram que a extração de N, P, K, Ca e Mg aumenta linearmente com o acréscimo na

produtividade, e que a maior exigência do sorgo refere-se ao N e K, seguindo-se Ca, Mg e P.

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 sorgo no Brasil, as doses dos nutrientes são segmentadas conforme a produtividade esperada. Isso se aplica, mais apropriadamente, a nutrientes como N e o K, extraídos em grandes quantidades, mas também é válido para o P e, de certo modo, para o S. O conceito é menos importante para o cálcio e o magnésio, cujos teores nos solos, com a acidez adequadamente corrigida, devem ser suficientes para culturas de sorgo com altas produtividades (COELHO, 2009).

No que se refere à exportação dos nutrientes pelo sorgo, o P e o N são quase todos translocados para os grãos, seguindo-se o Mg, o K e o Ca. Isso implica que a incorporação dos restos culturais do sorgo devolve ao solo parte dos nutrientes, principalmente K, Ca e Mg, contidos na palhada. Entretanto, mesmo com a manutenção da palhada na área de produção e, em decorrência das grandes quantidades que são exportadas pelos grãos, faz-se necessária a reposição desses nutrientes em cultivos seguintes (FRIBOURG *et al.*, 1976). O sorgo destinado à produção de forragem tem recomendações especiais porque todo material é cortado e removido do campo antes que a cultura complete seu ciclo. Com isso, a remoção de nutrientes é muito maior do que aquela para a produção de grãos (BULL, 1993).

É necessário, portanto, para manter a fertilidade do solo, que se procure efetuar a restituição dos elementos extraídos pelas culturas, bem como dos nutrientes lixiviados e perdidos pelo processo de erosão. A adubação de “restituição” deve devolver ao solo as quantidades de nutrientes que as plantas retiram. Ela deve ser preferencialmente adotada para cobrir as quantidades de macro e micronutrientes retirados pelas colheitas (MAGGIO, 2006). Essa prática evita que o solo se esgote ou que se torne deficiente em

algum nutriente, visto que a deficiência de elementos minerais causa severas reduções no crescimento e desenvolvimento das plantas (STAUD, 1996).

Fonseca *et al.* (2008), em ensaio com elemento faltante, observaram que a omissão de N, P e K paralisou o crescimento do sorgo após o início dos tratamentos, mantendo constante a altura e o diâmetro do caule, e diminuindo o número de folhas das planta, seguindo o modelo linear em função do tempo corrido. Ao término do experimento, as plantas deficientes apresentaram diminuição significativa no desenvolvimento, afetando a altura, o diâmetro do caule, o número de folhas e a área foliar, em relação ao tratamento completo. Com isso, houve depressão significativa na produção de massa seca da parte aérea e da raiz em relação ao tratamento completo, o que está de acordo com a literatura que, sob condições de deficiência de nitrogênio, é retardado o processo de divisão celular nos pontos de crescimento, o que resulta numa redução na área foliar e no tamanho da planta (ARNON, 1975).

Carelli *et al.* (1996), em um experimento com girassol em solução nutritiva, observaram que a deficiência de N provocou diminuição de 31 % na taxa de fotossíntese que, por sua vez, está relacionada com o decréscimo na quantidade da enzima rubisco, visto que parte do nitrogênio total da folha está alocada nesta enzima.

Assim, quando o teor de N na planta apresenta um valor muito baixo, tem-se comprometimento de diversos processos fisiológicos que, em seguida, desenvolvem sintomas visuais de deficiência. Além disso, a omissão do nitrogênio na solução nutritiva afetou outros nutrientes com redução significativa em comparação ao tratamento completo, destacando os teores de Ca, Mg e S. Resultados semelhantes da diminuição na absorção de macronutrientes, como a omissão do N, também foram obtidos por Santi *et al.* (2006) na cultura do sorgo.

Apesar de os sintomas de deficiência de fósforo terem aparecido tardiamente, observou-se que os parâmetros vegetativos indicativos de crescimento foram significativamente afetados pela omissão deste elemento,

conforme mencionado. Constatou-se ainda que a relação massa seca de raiz e parte aérea foi maior na solução deficiente de P comparado à solução completa, fato semelhante ao obtido por Camacho *et al.* (2002) com sorgo cultivado em solução nutritiva. De acordo com a literatura, plantas sob deficiência de P aumentam o dreno de fotoassimilados para a raiz a fim de aumentar a capacidade da planta para absorção desse nutriente (FREEDEN *et al.*, 1989). Portanto, as plantas deficientes em fósforo têm seu crescimento retardado por esse nutriente estar ligado também à função estrutural e ao processo de transferência e armazenamento de energia (MALAVOLTA *et al.*, 1989), afetando vários processos metabólicos como a síntese de proteínas e ácido nucléico (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Nas lavouras, as plantas frequentemente necessitam de elementos minerais para suprir suas necessidades nutricionais, podendo atender essa necessidade com o uso apropriado de fertilizantes aplicados ao solo. Dessa forma, tendo o conhecimento da quantidade do elemento a ser aplicado, em função da quantidade do elemento absorvido pela planta, é possível conseguir produções satisfatórias (FONTES, 1987) em cada safra.

Quando analisados os tecidos vegetais, verifica-se que a quantidade de P é inferior quando comparada com as quantidades de N e K e, em geral, semelhante aos teores de S, Mg e Ca (BISSANI, 2008). Entretanto, nas recomendações, a proporção do P, em geral, é igual ou maior do que aquelas de N e K. A explicação desse fato é que a maioria dos solos brasileiros é de natureza ácida, de baixa fertilidade natural e com elevada capacidade de retenção de P, o que ocasiona a necessidade de aplicação de elevadas doses de fertilizantes fosfatados, aumentando os custos de produção (MOURA *et al.*, 2001).

O K é um elemento requerido pelas plantas em maior quantidade, sendo sua necessidade maior que a do P e apresentando a mesma ordem de exigência do N (MALAVOLTA, 1989; USHERWOOD, 1982) quando se consideram os três nutrientes dentro da planta. É considerado o primeiro nutriente em ordem de extração nas culturas, pela sua contribuição na

formação e translocação de carboidratos, uso eficiente da água pela planta, equilíbrio na aplicação de nitrogênio, além de facilitar a absorção de outros nutrientes como o cálcio (FILGUEIRA, 2000; MARSCHNER, 1995).

### **2.3.2 Micronutrientes**

Para os micronutrientes, segundo Prado *et al.* (2008), em condições tropicais, as deficiências de Zn são as mais frequentes, e há escassez de conhecimento sobre doses, padrões de absorção e modos eficientes de aplicação, razões pelas quais esse micronutriente tem limitado a produtividade da cultura do sorgo no Brasil. Esse fato torna-se relevante em razão da importância do zinco na nutrição das plantas, sendo que a mais conhecida é sua participação na biossíntese do ácido indolacético (MALAVOLTA, 1980), e atuação como ativador de uma série de enzimas importantes para o metabolismo das plantas.

Dessa forma, a adubação com Zn, na cultura do sorgo, em áreas de cerrado com baixo teor de Zn, torna-se prática agrícola importante para garantir a máxima produção da cultura. A aplicação de 14 g de Zn, por kg de sementes, na forma de óxido, proporcionou adequado crescimento inicial do sorgo cv. BRS 304. A fonte sulfato promoveu maior absorção do Zn pelas plantas (PRADO *et al.*, 2008).

Santos *et al.* (2009) afirmam que as plantas de sorgo são consideradas muito sensíveis à deficiência de Zn e apresentam sensibilidade média à deficiência de Cu, além de aumentos de produção com a aplicação de Zn (MARTENS & WESTERMANN, 1991; RITCHEY *et al.*, 1986). Em outras gramíneas, como o arroz, a matéria seca foi significativamente maior com a aplicação de doses crescentes de Cu e Zn (FAGERIA, 2002). Trabalhando com doses de Zn, Fageria (2000) verificou que a produção de matéria seca da parte aérea aumentou 36 % com a aplicação de 10 mg kg<sup>-1</sup> e 14 % com a aplicação de 20 mg kg<sup>-1</sup>, para arroz e milho, respectivamente, se



comparados com a testemunha, evidenciando a importância desses nutrientes para as culturas.

Santi *et al.* (2005) concluíram que o nutriente que mais limitou o crescimento de sorgo foi o Fe. A redução na área foliar de plantas de sorgo ocorreu na seguinte ordem decrescente: Fe>Zn>Cu>B>Mn.

A recomendação das adubações, por sua vez, é embasada nos estudos de resposta à fertilização e na exigência nutricional da cultura. Devido, principalmente, aos picos de máxima absorção pela planta, a exigência das culturas por nutrientes não pode ser inferida somente a partir da extração total. Faz-se necessário o estudo da marcha de absorção dos nutrientes em função do tempo, para prever como, quando e quanto de adubo deve ser aplicado (DUARTE, 2003).

Definida a necessidade de aplicação de fertilizantes para a cultura do sorgo, o passo seguinte, e de grande importância no manejo da adubação, visando à máxima eficiência, é o conhecimento da absorção e acúmulo de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, identificando as épocas em que os elementos são exigidos em maiores quantidades. Essa informação associada ao potencial de perdas por lixiviação de nutrientes nos diferentes tipos de solos são fatores importantes a considerar na aplicação parcelada de fertilizantes, principalmente nitrogenados e potássicos (COELHO, 2009).

O sorgo apresenta períodos diferentes de intensa absorção, com o primeiro ocorrendo durante a fase de desenvolvimento vegetativo (V7 – V12), quando o número potencial de grãos está sendo definido; e o segundo, durante a fase reprodutiva ou formação dos grãos, quando o potencial produtivo é atingido. Até a época do florescimento, a planta absorve 65, 60 e 80 % de seu requerimento em N, P e K, respectivamente. Isso enfatiza que para altas produções, mínimas condições de estresses devem ocorrer durante todos os estádios de desenvolvimento da planta (TISDALE *et al.*, 1985, citado por COELHO, 2009).

Ainda segundo o mesmo autor, a absorção de potássio apresenta um padrão diferente em relação ao nitrogênio e ao fósforo, com a máxima absorção ocorrendo no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, com taxa de absorção superior ao de N e P, sugerindo maior necessidade de potássio na fase inicial como um elemento de “arranque”. Já para o nitrogênio e o fósforo, o sorgo apresenta dois períodos de máxima absorção durante as fases de desenvolvimentos vegetativo e reprodutivo ou formação dos grãos, e menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão da panícula e o início da formação dos grãos.

Assim, uma das formas de se aumentar a produtividade de uma cultura é, sem dúvida, a nutrição mineral adequada, por meio de programas de adubação que considerem, além da quantidade de fertilizante fornecida, também o balanço entre os nutrientes requeridos, no momento certo, aliado às condições climáticas (BULL & CANTARELLA, 1993).

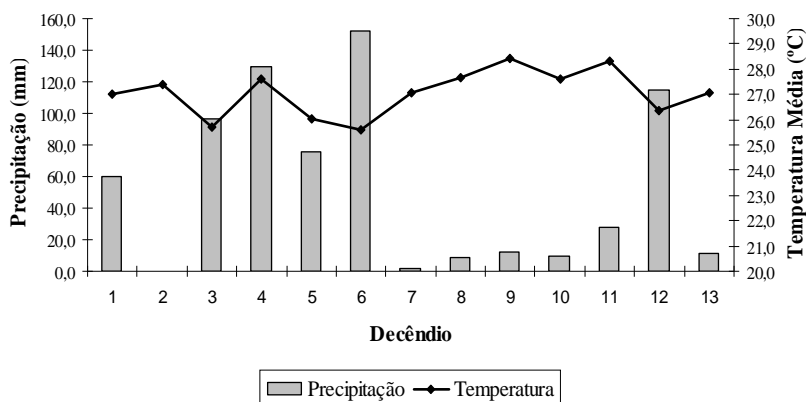
Apesar dos avanços obtidos com o melhoramento genético e do lançamento de cultivares de elevado potencial de produção, o benefício para o agricultor acaba restringido pelas circunstâncias mencionadas. O fato é que grande parte dos relatos disponíveis de experiências de produção de sorgo em condições ambientais favoráveis datam de décadas atrás e, obviamente, não refletem os ganhos que podem advir da associação de uma cultivar moderna com fatores edafoclimáticos e de manejo otimizados. Por conseguinte, estudos atuais a respeito da marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca para híbridos desenvolvidos recentemente podem revelar outras épocas e quantidades requeridas de nutrientes, diferentemente daquelas determinadas anteriormente (REZENDE *et al.*, 2009).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na primavera-verão (2009, plantio das águas) em condições de campo, na fazenda experimental da UNIMONTES no município de Janaúba - MG, sob sistema convencional de cultivo. A área experimental está localizada a 9 km da cidade de Janaúba, que se situa às margens do projeto Gortuba, com coordenadas geográficas 15° 47' 50" de latitude sul e 43° 18' 31" de longitude oeste, com altitude de 516 metros. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Distrófico, de textura franco argilosa, cujo clima, segundo Köppen (OMETTO, 1981) é do tipo AW (tropical chuvoso, savana com inverno seco).

Foi cultivado o feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L. anteriormente ao plantio do sorgo. Os dados de temperatura, e precipitação, no período de condução do experimento encontram-se na Figura 1.



**FIGURA 1.** Dados médios de temperatura, em graus Celsius (°C), e precipitação pluvial acumulada por decêndio, em milímetros (mm), em Janaúba-MG, de 10/11/2009 a 19/03/2010. Dados obtidos na Estação Climatológica da EPAMIG, Nova Porteirinha, MG, 2011.

### 3.2 Material genético

Foram utilizados dois híbridos de sorgo, um granífero e outro forrageiro, com características diferentes de arquitetura, ciclo, consistência do grão, porte e utilização (Tabela 1), e que apresentam comprovada adaptação às condições edafoclimáticas da região Norte de Minas Gerais, sendo os mesmos também representativos dos híbridos de alta expectativa de produção de grãos e de forragem de sorgo em outras regiões do Brasil.

**TABELA 1.** Características dos híbridos de sorgo a serem utilizados no experimento.

Híbrido	Ciclo	Porte	Grão	Densidade	Empresa
DKB 599 (granífero)	Precoce	Baixo	Creme, sem tanino	180.000 pl ha <sup>-1</sup>	Monsanto
BRS 610 (forrageiro)	Semi-precoce	Alto	Avermelhados, sem tanino	140.000 pl ha <sup>-1</sup>	Embrapa

### 3.3 Delineamento estatístico e tratamentos

Os tratamentos foram dispostos num esquema fatorial 9 x 2, sendo que o primeiro fator constituiu-se das épocas de coleta das plantas (T1 = 3 folhas totalmente expandidas; T2 = 5 folhas totalmente expandidas; T3 = 7 folhas totalmente expandidas; T4 = Diferenciação primórdio floral; T5 = 80 % Área foliar total/pré-emergência da panícula; T6 = Folhas totalmente expandidas; T7 = Liberação de pólen nas panículas; T8 = Grão leitoso/pastoso; T9 = Camada negra no grão), e o segundo fator foi composto pelos híbridos simples de sorgo BRS 610 e DKB 599. Na Tabela 2 estão descritos e caracterizados os estádios fenológicos da cultura do sorgo (fases de crescimento) e as épocas de coleta das plantas. Dessa forma, para efeito de coleta de dados, contemplaram-se as três fases de crescimento da cultura do sorgo (EC1, EC2 e EC3) com três épocas de coleta cada uma. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições.

**TABELA 2.** Caracterização dos estádios fenológicos, época de coleta das plantas em dias após a emergência (DAE) e partes analisadas para determinação dos teores de nutrientes nas plantas de sorgo. Janaúba, MG, 2011.

Estádio fenológico*	Época de coleta das plantas (DAE)		Parte analisada
	DKB 599	BRS 610	
EC1 - 3 fls totalmente expandidas	9	9	folhas
EC1 - 5 fls totalmente expandidas	17	17	folhas
EC1 - 7 fls totalmente expandidas	24	24	folhas
EC2 - Diferenciação primórdio floral	31	35	colmos e folhas
EC2 - 80 % Área foliar total	38	45	colmos e folhas
EC2 - fls totalmente desenvolvidas	45	57	colmos e folhas
EC3 - Liberação de pólen nas panículas	57	70	colmos, folhas e panícula
EC3 – Grão leitoso/pastoso	77	93	colmos, folhas e panícula
EC3 - Camada negra no grão	98	118	colmos, folhas, grãos e panícula

\*Fases de crescimento da cultura do sorgo (EC). Granífero - DKB599 e forrageiro - BRS 610.

As parcelas foram constituídas por quatro linhas de plantio, espaçadas entre si a 0,6 m, com 5 m de comprimento, sendo as duas linhas centrais consideradas úteis para efeito de coleta de dados e observações.

### 3.4 Implantação e condução do experimento

A correção da fertilidade e as adubações de plantio e cobertura foram realizadas considerando a análise química do solo (TABELA 3), de acordo a CFSEMG (1999). Os tratamentos receberam a mesma adubação para macro e micronutrientes, em que se considerou uma expectativa de produção acima de 8 t ha<sup>-1</sup> de grãos e de 70 t ha<sup>-1</sup> de forragem.

**TABELA 3.** Resultado da análise química de amostras de solo (0-20 cm) da área onde foi conduzido o experimento de primavera – verão. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

<b>ATRIBUTOS QUÍMICOS</b>	<b>RESULTADOS</b>
pH em H <sub>2</sub> O <sup>1</sup>	5,9
Mat. Org. (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	3,6
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	6,5
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	141
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	3,3
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	0,7
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	0,0
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	1,3
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,3
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,3
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,6
V (%)	77
m (%)	1
B (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	10,1
Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	58,6
Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	113,3
Mn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	177,9
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	4,0
S (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>8</sup>	42,3
P-rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup>	29,0
<b>ATRIBUTOS FÍSICOS</b>	
Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	45
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	17
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	38
Classe textural	Franco argiloso

<sup>1</sup>. pH em água; <sup>2</sup>. Colorimetria; <sup>3</sup>. Extrator Mehlich 1; <sup>4</sup>. Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>5</sup>. Extrator acetato de cálcio a pH 7,0; <sup>6</sup>. Extrator BaCl<sub>2</sub>; <sup>7</sup>. Solução equilíbrio de P. <sup>8</sup>. Extrator Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 500 mg L<sup>-1</sup> de P em HOAC 2 mol L<sup>-1</sup>. SB, Soma de bases; t, CTC efetiva; T, CTC a pH 7; V, Saturação por bases; m, Saturação por alumínio; P-rem, Fósforo remanescente.

Na adubação de plantio, utilizaram-se 500 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 4:30:10, correspondendo a 20, 150 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O respectivamente, mais 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. Foram realizadas três adubações de cobertura, sendo a primeira quando as plantas estavam com 4-5 folhas totalmente expandidas, aplicado 300 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 30:0:20 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O); a segunda quando as plantas estavam com 6-7 folhas totalmente

desenvolvidas, aplicando-se 200 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 30:0:20 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O), e finalmente a terceira quando as plantas estavam com 8 folhas, aplicando 300 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio.

As sementeiras foram realizadas manualmente em 10/11/2009 utilizando-se o dobro de sementes necessárias para a obtenção da densidade desejada para cada híbrido (TABELA 1). O desbaste foi realizado quando as mesmas estavam com 3 folhas totalmente desenvolvidas (25/11/2009), ajustando a população equivalente à sugerida para cada híbrido.

Para repor a evapotranspiração diária da cultura, foi realizada a irrigação quando necessário, utilizando o sistema de irrigação convencional por aspersão, constituído por linhas laterais móveis. Os aspersores utilizados foram os da marca comercial Fabrimar ECO A2321 com vazão de 3,02 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (pressão de serviço de 25 m.c.a.), diâmetro molhado de 31 m e espaçados de 12 x 18 m. As regas ocorreram três vezes por semana com um tempo efetivo de irrigação por posição de 3,5 horas. Do florescimento até a senescência, o tempo efetivo por posição aumentou para 4,0 horas. As precipitações eram descontadas na mesma proporção das respectivas lâminas de irrigação.

O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente, com enxada, no dia 08/12/2010, aos 23 DAE. O controle de doenças não foi necessário e o controle de lagarta do cartucho foi realizado quando as plantas estavam com 5 folhas totalmente desenvolvidas, utilizando-se o inseticida Decis, na dosagem de 200 mL ha<sup>-1</sup>.

A colheita do material vegetal para as avaliações, de acordo com os tratamentos pré-determinados, foi escalonada obedecendo cada estágio fenológico da cultura do sorgo (fases de crescimento) (Tabela 2). As coletas das plantas ocorreram quando, pelo menos, cinquenta por cento das parcelas se encontravam no estágio fenológico respectivo. As plantas colhidas em cada parcela foram cortadas rente ao solo e transportadas, em feixe, para o Galpão de Grandes Culturas da UNIMONTES. O material vegetal foi separado em caule, folhas, grãos e panícula. Posteriormente retiraram-se

amostras representativas de cada parte vegetal, sendo essas lavadas em água corrente e depois em água destilada, secas em estufa de circulação forçada a 65 °C, até peso constante, determinada a matéria seca e moídas. Em seguida, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, para a realização das determinações químicas dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e de micronutrientes (Zn, Cu, B, Fe e Mn) na matéria seca das diferentes partes da planta.

Os valores totais de matéria seca de cada parte da planta foram convertidos para kg ha<sup>-1</sup>. A matéria seca total da parte aérea das plantas foi obtida com o somatório dos valores de MS das partes (folha, caule, panículas e grãos) nas parcelas.

Por meio da mistura de ácidos nítrico-perclórico, foram determinados os teores de P por colorimetria; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica; K por fotometria de chama; e S por turbidimetria. Os teores de N total foram determinados pelo método semimicro Kjeldahl. O B, após digestão por via seca, foi determinado por colorimetria (método da curcumina) (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

Foi calculado o acúmulo de cada nutriente em cada parte da planta por meio da relação do teor do nutriente nas mesmas pela matéria seca de cada parte, conforme fórmula abaixo e, posteriormente, os valores obtidos foram transformados para kg ha<sup>-1</sup>.

$$\text{Acúmulo (g do nutriente / parte)} = \frac{\text{MS da parte (g)} \times \text{teor do nutriente na parte (\%)}}{100}$$

### **3.5 Características avaliadas**

Em cada época de coleta das plantas, nas duas fileiras centrais da parcela, que foram consideradas como úteis, avaliaram-se as seguintes características:



- a) Teores de macronutrientes e de micronutrientes na matéria seca total das plantas e em cada uma das partes da planta.
- b) Matéria seca de cada parte da planta e da planta toda, em cada época de coleta das plantas.
- c) Altura de plantas: medida do topo da panícula ao solo, sendo o valor médio de 10 plantas da área útil da parcela.
- d) Produtividade de grãos.

### **3.6 Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as diferenças significativas, identificadas pelo teste F ( $P < 0,05$ ), estudadas pelo teste Scott-Knott quando se consideraram os estádios fenológicos como critério de coleta das plantas (dados qualitativos).

Quando se consideraram as épocas, em intervalo de dias, como parâmetro de coletas das plantas, por se tratar de dados quantitativos, e haver, portanto, uma correlação funcional entre  $x$  (DAE) e  $y$  (variável resposta), para explicar fisiologicamente a marcha de absorção e o acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo, utilizaram-se modelos de regressão não linear, função sigmoidal com três parâmetros.

A estatística de comparações de médias e estudo de regressão no presente estudo se justifica, porque se trabalhou com dois híbridos, um forrageiro e outro granífero de ciclos diferentes. Assim, não foi possível fazer comparações entre eles apenas com a regressão, pois a escala em intervalo de dias não permitiu que ambos os híbridos fossem analisados ao mesmo tempo para determinada variável. Desse modo, estes foram analisados individualmente. Consequentemente, o teste de médias veio para complementar e possibilitar que as inferências fossem mais amplas e concretas entre os dois híbridos.

A escolha do modelo foi de acordo com o ajuste (porcentagem de variância explicada,  $R^2$ ) e melhor representação do fenômeno. Optou-se pelo modelo de regressão não linear, função sigmoidal com 3 parâmetros:

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left(-\left(\frac{x - x_0}{b}\right)\right)}$$

onde: a = Ponto máximo da curva  
b = Parâmetro de ajuste  
 $x_0$  = Ponto de inflexão

O ponto de inflexão corresponde ao momento em que ocorreram as taxas máximas de acúmulos de matéria seca e nutrientes nas plantas de sorgo. A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD,  $\text{kg dia}^{-1}$ ) foi determinada pelo acúmulo da matéria seca e nutrientes no ponto de inflexão menos o acúmulo do dia anterior.

Os pontos de curvatura mínima ( $PC_{\min}$ ) e máxima ( $PC_{\max}$ ) foram calculados conforme o método citado por Venegas *et al.* (1998) utilizando os parâmetros das equações não lineares:

$$PC_{\min} = x_0 - 2b \qquad PC_{\max} = x_0 + 2b$$

O  $PC_{\min}$  indica o momento na curva de acúmulo em que se iniciam ganhos expressivos no acúmulo de MS e nutrientes. Já o  $PC_{\max}$  indica o momento em que o acúmulo dos elementos começa a se estabilizar.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Acúmulo de matéria seca**

A análise de variância dos dados revelou que, com exceção do acúmulo de N, Mg e S, todas as demais características avaliadas foram influenciadas pelos híbridos de sorgo (H). Os estágios fenológicos (E) afetaram significativamente todas as características estudadas, enquanto a interação entre os híbridos e os estágios fenológicos (H x E) foi significativa para a altura média de planta, além do acúmulo de MS, K e Ca, demonstrando que os híbridos avaliados se comportam diferentemente quanto ao acúmulo de tais nutrientes ao longo do desenvolvimento da planta. Em nenhuma das variáveis analisadas foi observado efeito significativo para bloco. Portanto, tal ensaio poderia ter sido conduzido em DIC, mas como havia dúvida da homogeneidade da área experimental, optou-se pela blocagem (TABELA 4).

**TABELA 4.** Resumos da análise de variância (quadrados médios) dos dados relativos à altura de plantas, acúmulo de matéria seca total (MS), N, P, K, Ca, Mg e S, na parte aérea, considerando dois híbridos de sorgo (H), em função dos estádios fenológicos da cultura (EST). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

<b>FV</b>	<b>Altura</b>	<b>MS</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
<b>H</b>	34806,65**	27709868,27**	1047,98 <sup>ns</sup>	105,90*	15153,37**	1141,78**	5,33 <sup>ns</sup>	1,86 <sup>ns</sup>
<b>EST</b>	35076,20**	314809207,65**	107180,33**	2565,74**	96082,63**	10507,40**	1170,23**	441,07**
<b>H*EST</b>	3958,66**	5114926,07**	1397,36 <sup>ns</sup>	37,60 <sup>ns</sup>	2939,58**	196,69*	5,26 <sup>ns</sup>	1,69 <sup>ns</sup>
<b>B</b>	156,515 <sup>ns</sup>	36022,30 <sup>ns</sup>	139,70 <sup>ns</sup>	8,58 <sup>ns</sup>	1616,67 <sup>ns</sup>	5,64 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	7,23	17,25	26,32	22,19	17,86	21,38	22,34	20,14

\*\* (P≤0,01); \* (P≤0,05); <sup>NS</sup> não significativos.

O desdobramento da interação entre os híbridos de sorgo e os estádios fenológicos, estudando-se os efeitos dos estádios dentro de cada híbrido, mostrou que, para altura de plantas, os valores foram crescentes até o estágio 7 (florescimento), a partir de quando os híbridos se estabilizaram até o final do ciclo, independentemente da cultivar. O BRS 610 apresentou maior porte que o DKB599. Tal característica ficou evidente a partir do estágio 4 (diferenciação), no qual o híbrido forrageiro (BRS610) estatisticamente diferiu do granífero (DKB599) mantendo essa superioridade até o final do ciclo (TABELA 5).

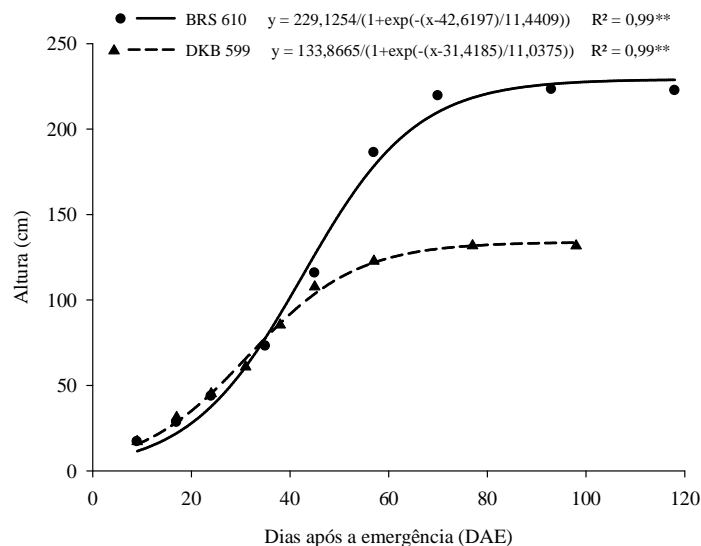
Segundo Magalhães *et al.* (2009), a altura da planta é controlada por quatro pares de genes principais (*dw1*, *dw2*, *dw3* e *dw4*), os quais atuam de maneira independente e aditiva sem afetar o número de folhas e a duração do período de crescimento. As plantas com os genes recessivos nos quatro *loci* resultam em porte mais baixo (60-80 cm), caracterizadas pelo nanismo e são chamadas "anãs-4"; enquanto que as plantas com genes recessivos em três *loci* e dominante no outro *locus* são chamadas "anãs-3". Cultivares graníferas normalmente são "anãs-3" e cultivares forrageiras são "anãs-2" ou "anãs-1", com genes recessivos em dois *loci* ou um *locus* respectivamente, o que justifica as diferenças entre altura dos híbridos forrageiros e graníferos estudados.

**TABELA 5.** Altura de planta em cm, considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Estádios	Híbridos	
	BRS 610	DKB 599
1 - EC1 - 3 folhas	17,13 aG	17,15 aG
2 - EC1 - 5 folhas	28,40 aF	31,30 aF
3 - EC1 - 7 folhas	43,70 aE	45,22 aE
4 - EC2 - Diferenci.	73,10 aD	60,88 bD
5 - EC2 - 80 % AF	115,73 aC	85,39 bC
6 - EC2 - F T D	186,23 aB	107,70 bB
7 - EC3 - Antese	219,50 aA	122,73 bA
8 - EC3 - Leit/past	223,25 aA	131,80 bA
9 - EC3 - C Negra	222,61 aA	131,71 bA

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na linha e maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

Independentemente da cultivar, as plantas de sorgo apresentaram crescimento sigmoidal durante o ciclo da cultura, e as taxas máximas de crescimento diário ocorreram aos 43 e 31 dias após a emergência (DAE), sendo de 5,01 e 3,03 cm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, para os híbridos BRS610 e DKB599 (FIGURA 2).



**FIGURA 2.** Altura de plantas, em cm, dos híbridos BRS610 (forrageiro) e DKB599 (granífero) em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Por meio de uma análise mais detalhada dos gráficos, é possível inferir para ambas as cultivares que as plantas de sorgo apresentaram um crescimento inicial lento com um  $PC_{\min}$  de 20 dias (BRS610) e 9 dias (DKB599). A partir daí fica evidente um arranque vertiginoso no crescimento desses híbridos até 66 DAE para o forrageiro e 54 DAE para o granífero ( $PC_{\max}$ ), com posterior estabilização até o final do ciclo (camada negra). Andrade Neto *et al.* (2010) concluíram que a partir dos 72 DAE, a altura do sorgo se estabilizou.

Durante a primeira fase de crescimento da cultura do sorgo, a planta é pequena e tem um crescimento inicial lento. Na fase seguinte (EC2), segundo Pinho & Vasconcelos (2002), há uma maior atividade metabólica, com alongação rápida dos entrenós do colmo e grande expansão das folhas. Nessa fase, a absorção de nutrientes é intensa, e é quando ocorre o maior acúmulo de matéria seca. Na terceira fase de crescimento (EC3), os fatores considerados mais importantes são aqueles relacionados ao enchimento de

grãos. O primeiro período de maturação do grão é conhecido como grão leitoso passando para a fase de grão pastoso, quando o acúmulo de matéria seca é muito rápido. Por fim, a diferenciação da gema floral bloqueia a atividade meristemática (divisão celular). Daí para frente, todo crescimento é devido ao alongamento das células já existentes (MAGALHÃES *et al.*, 2009).

O híbrido forrageiro acumulou mais MS que o granífero, sendo essa diferença observada a partir do estágio 6 (folhas totalmente desenvolvidas), ou seja, até quando as plantas estavam com 80 % de área foliar, ambos os híbridos acumularam valores semelhantes de MS. Todavia, não se observou diferença estatística no acúmulo de matéria seca para estádios em toda EC1 - estação de crescimento 1 (até o estágio 3), época em que os híbridos possuíam exatamente a mesma altura. Dessa maneira, tornou-se nítida e evidente uma correlação direta e muito similar entre altura e MS, uma vez que se observou no início do ciclo uma taxa de crescimento lenta com valores iniciais relativamente baixos e posteriores acúmulos crescentes e sucessivos para os híbridos até o final do ciclo (TABELA 6).

Hiroce *et al.* (1989) verificaram que a cultivar IAC Maya, representativa das primeiras variedades melhoradas de milho do Brasil (mais tardia e de maior porte), foi a que apresentou o maior acúmulo de MS, N e K na parte aérea, em virtude do maior crescimento vegetativo. Porém, não houve diferença entre o IAC 7974, um dos híbridos com maior área cultivada nos anos setenta (intermediário em ciclo e porte) e o Cargill 601 (híbrido moderno, de porte baixo e ciclo precoce), os quais apresentaram potenciais de produção semelhantes e não demonstraram alteração no acúmulo de matéria seca e conseqüentemente de nutrientes.



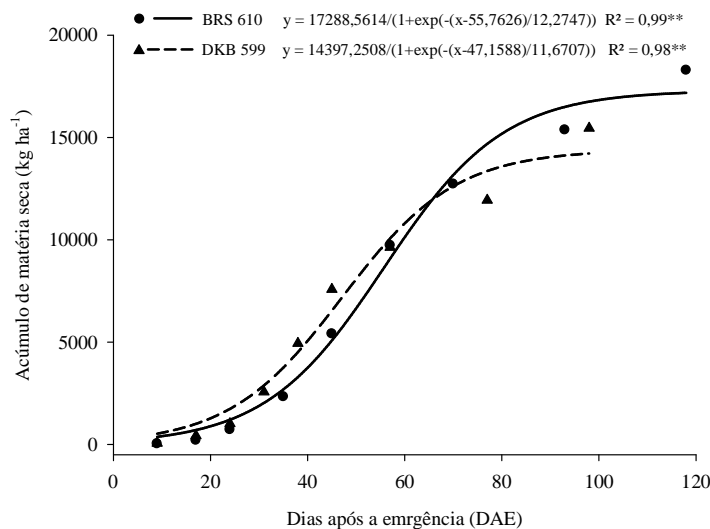
**TABELA 6.** Acúmulo de matéria seca total em kg ha<sup>-1</sup>, considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Estádios	Híbrido	
	BRS 610	DKB 599
1 - EC1 - 3 folhas	35,15 aG	62,10 aG
2 - EC1 - 5 folhas	200,34 aG	428,09 aG
3 - EC1 - 7 folhas	723,57 aG	1020,49 aG
4 - EC2 - Diferenci.	2333,71 aF	2569,38 aF
5 - EC2 - 80 % AF	5402,96 aE	4940,82 aE
6 - EC2 - F T D	9724,62 aD	7580,75 bD
7 - EC3 - Antese	12722,20 aC	9632,82 bC
8 - EC3 - Leit/past	15365,74 aB	11936,90 bB
9 - EC3 - C Negra	18283,00 aA	15453,28 bA

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na linha e maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

Os acúmulos de matéria seca foram pouco expressivos nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas de sorgo, sendo observados no início do ciclo valores iniciais relativamente baixos, com posterior intensificação ocasionando incrementos somente a partir dos 31 DAE (BRS610) e 24 DAE (DKB599). O PC<sub>min</sub> se estendeu até aos 80 e 71 DAE (PC<sub>max</sub> do forrageiro e granífero respectivamente) chegando ao final do ciclo com um ritmo de crescimento bastante reduzido em relação ao período anterior para ambos os híbridos (FIGURAS 4 e 5).

A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD) de matéria seca na planta de sorgo foi de 352,23 kg ha<sup>-1</sup> para o híbrido BRS 610, e 308,11 kg ha<sup>-1</sup> para o híbrido DKB 599, visto que as equações de regressão para os híbridos BRS 610 e DKB 599 explicam, respectivamente, 99 % e 98 % da variação total dos dados (FIGURA 3).



**FIGURA 3.** Acúmulo de matéria seca total, em kg ha<sup>-1</sup>, dos híbridos BRS610 (forrageiro) e DKB599 (granífero) em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

De acordo com Magalhães (1979), em uma curva hipotética de crescimento de um vegetal existe um período inicial em que o crescimento é lento, seguido de uma fase de rápido aumento de tamanho e, finalmente, uma estabilização no acúmulo de matéria orgânica. A interpretação fisiológica dessas diferentes fases de crescimento se fundamenta em alguns princípios básicos. Inicialmente, a planta depende de reservas da semente para a produção dos órgãos que compõem a plântula. Após o desenvolvimento do sistema radicular e a emergência das folhas, os processos anabólicos, dependentes da fotossíntese, se traduzem em um rápido crescimento, atingindo um tamanho definitivo. A partir daí, a planta inicia uma fase de senescência, que resulta na paralisação da produção da matéria orgânica.

Com isso, a exigência nutricional das culturas em geral torna-se mais intensa com o início da fase reprodutiva, sendo mais crítica na época de formação das sementes, quando consideráveis quantidades de nutrientes são para elas translocadas. Essa maior exigência se deve ao fato de os nutrientes

serem essenciais à formação e ao desenvolvimento de novos órgãos de reserva (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

Fato interessante é que, embora a cultura do sorgo seja morfológicamente semelhante à cultura do milho, fisiologicamente, são muito distintas. Quando se observa a comparação dos resultados obtidos nesse trabalho, verifica-se que o sorgo acumula MS e macronutrientes de forma crescente até o final do ciclo, enquanto Duarte (2003), em milho, observou que o acúmulo de MS e de macronutrientes atingiu valores máximos antes do período de maturidade fisiológica dos grãos, revelando ser o sorgo uma cultura que extrai nutrientes até a maturidade fisiológica dos grãos, sendo, portanto, mais esgotante do solo que o milho.

#### **4.2 Acúmulo de macronutrientes**

De maneira geral, a quantidade de nutrientes acumulada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nas plantas se relacionou diretamente com a produção de massa seca, colaborando com Andrade *et al.* (1975 a), Hiroce *et al.* (1989) e Reinbott *et al.* (2004).

Pôde-se observar que nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, os acúmulos são notadamente modestos e semelhantes. Posteriormente, verificou-se que ocorre um incremento de forma acentuada no acúmulo desses nutrientes a partir do estágio 3, aumentando de maneira considerável até o final do ciclo com a obtenção da camada negra nos grãos (TABELAS 7 e 8). Isso se explica em partes pelo grande desenvolvimento vegetativo apresentado pelas plantas de sorgo durante a EC2, nitidamente observado nas tabelas de Matéria Seca e Altura (5 e 6), exigindo, portanto, maior demanda desses macronutrientes.

Stipp & Yamada (1988) destacam que nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura a reserva contida nas sementes é suficiente para as necessidades iniciais das plantas, assim, nas três primeiras semanas quase não há absorção de minerais no solo, sendo os elementos contidos nas

sementes mobilizados e translocados para raízes e para a parte aérea, justificando dessa forma os resultados obtidos.

**TABELA 7.** Valores médios de acúmulo de N, P, Mg e S, em kg ha<sup>-1</sup>, considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

<b>Estádios</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
1 - EC1 - 3 folhas	2,29 E	0,37 F	0,11 F	0,15 F
2 - EC1 - 5 folhas	16,49 E	2,57 F	0,77 F	1,10 F
3 - EC1 - 7 folhas	26,28 E	3,83 F	2,00 F	2,13 F
4 - EC2 - Diferenci.	71,84 D	8,56 E	5,43 E	3,88 E
5 - EC2 - 80 % AF	124,58 C	15,82 D	11,08 D	8,12 D
6 - EC2 - F T D	200,33 B	24,95 C	18,17 C	12,45 C
7 - EC3 - Antese	230,37 B	28,54 B	21,19 B	14,20 C
8 - EC3 - Leit/past	268,37 A	31,61 B	23,90 B	15,97 B
9 - EC3 - C Negra	303,98 A	55,26 A	34,45 A	20,80 A

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

**TABELA 8.** Acúmulo de K e Ca, em kg ha<sup>-1</sup>, em função de híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), e estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

<b>Estádios</b>	<b>POTÁSSIO</b>		<b>CÁLCIO</b>	
	<b>Híbridos</b>		<b>Híbridos</b>	
	<b>BRS 610</b>	<b>DKB 599</b>	<b>BRS 610</b>	<b>DKB 599</b>
1 - EC1 - 3 folhas	1,48 aE	2,50 aE	0,28 aE	0,46 aE
2 - EC1 - 5 folhas	8,79 aE	18,72 aE	1,82 aE	3,89 aE
3 - EC1 - 7 folhas	27,33 aE	44,39 aE	6,78 aE	9,59 aE
4 - EC2 - Diferenci.	92,74 aD	94,49 aD	20,24 aD	21,58 aD
5 - EC2 - 80 % AF	199,55aC	153,08 bC	45,01 aC	37,01 aC
6 - EC2 - F T D	218,93 aC	194,31 aB	73,02 aB	54,43 bB
7 - EC3 - Antese	264,02 aB	195,76 bB	81,77 aB	62,81 bB
8 - EC3 - Leit/past	283,26 aB	211,65 bB	87,59 aB	76,09 aA
9 - EC3 - C Negra	331,19 aA	251,26 bA	104,30 aB	83,27 bA

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na linha e maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

O desdobramento da interação entre os híbridos de sorgo e os estádios fenológicos, estudando-se os efeitos dos híbridos dentro de cada

estádio, revelou que para N, Mg e S os híbridos apresentaram comportamento semelhante, não havendo diferença estatística de acúmulos entre eles na parte aérea das plantas de sorgo. Para o P, o acúmulo do híbrido DKB 599 é superior ao do BRS 610 (TABELA 9). Por meio do desdobramento, percebeu-se que essa superioridade só se manifesta no estágio 9 (camada negra), sendo portanto a menor produtividade de grãos do híbrido forrageiro a responsável pela diferença verificada, visto que, até o estágio 8 (leitoso/pastoso), ambos apresentaram comportamento semelhante (TABELA 10).

Tais resultados demonstram a maior exigência de P do híbrido granífero no período de enchimento de grãos, uma vez que esse nutriente é acumulado em grande proporção nos grãos de sorgo (COELHO, 2009). Isso permite inferir que para a obtenção de altas produções de grãos e MS nas condições tropicais brasileiras, as plantas de sorgo granífero exigem maiores quantidades de P do que as de sorgo forrageiro.

Já para K e Ca, foi o híbrido forrageiro (BRS 610) que acumulou maiores quantidades desses nutrientes, na matéria seca das partes aéreas das plantas de sorgo durante o ciclo, quando comparado com o híbrido granífero (DKB 599). Essa superioridade fica mais evidente na segunda metade de desenvolvimento das plantas de sorgo (TABELA 10). Esses resultados se justificam pela maior capacidade do híbrido forrageiro em acumular matéria seca nos caules, característica proporcional à maior altura apresentada pelas plantas forrageiras, já que esses nutrientes se encontram em teores elevados nos caules.

**TABELA 9.** Valores médios de acúmulo de N, P, Mg e S em kg ha<sup>-1</sup>, considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos híbridos. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Híbrido	N	P	Mg	S
BRS 610	142,10 a	17,85 b	13,28 a	8,60 a
DKB 599	134,46 a	20,27 a	12,74 a	8,92 a

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste F (P≤0,05).

**TABELA 10.** Valores médios de acúmulo de fósforo (P) em kg ha<sup>-1</sup>, considerando o desdobramento da interação de dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Estádios	Híbrido	
	BRS 610	DKB 599
1 - EC1 - 3 folhas	0,27 a	0,48 a
2 - EC1 - 5 folhas	1,86 a	3,29 a
3 - EC1 - 7 folhas	3,21 a	4,46 a
4 - EC2 - Diferenci.	8,07 a	9,06 a
5 - EC2 - 80 % AF	16,22 a	15,43 a
6 - EC2 - F T D	24,23 a	25,68 a
7 - EC3 - Antese	28,92 a	28,16 a
8 - EC3 - Leit/past	29,10 a	34,12 a
9 - EC3 - C Negra	48,73 b	61,78 a
Média	17,85 b	20,27 a

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

Os híbridos BRS 610 e DKB 599 apresentaram comportamentos sigmoidais para o acúmulo de todos os macronutrientes. Esse comportamento em ambos os híbridos permite concluir que os máximos acúmulos ocorrem na maturidade fisiológica, caracterizando uma espécie vegetal que absorve nutrientes até o final do ciclo.

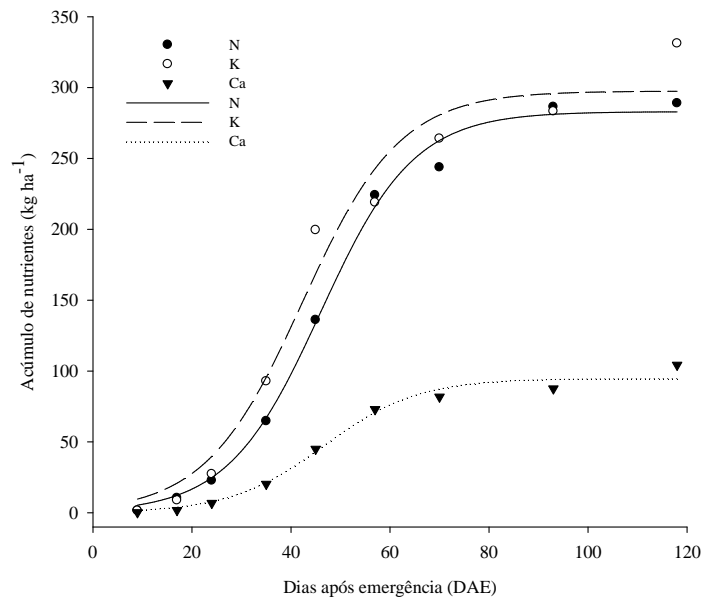
As maiores TMAD de N, K, Ca, Mg e S ocorreram entre 42 e 53 DAE para o híbrido forrageiro e 31 a 51 DAE para o granífero (TABELA 12). Essa foi a época de maior exigência em macronutrientes pela cultura do sorgo, sendo imprescindível a disponibilidade desses nutrientes no solo para a absorção pelas raízes. Já para o P a época de maior exigência ( $X_{TMAD}$ ) se deu pouco mais tarde, aos 62 e 82 DAE, respectivamente, para o BRS610 e o DKB599.

É possível que as altas taxas de translocação de água nos estádios correspondentes a essas épocas (diferenciação floral, 80 % de área foliar e folhas totalmente desenvolvidas), necessária para a expansão celular (MARENCO & LOPES, 2005; TAIZ & ZEIGER, 2004), venham a causar,

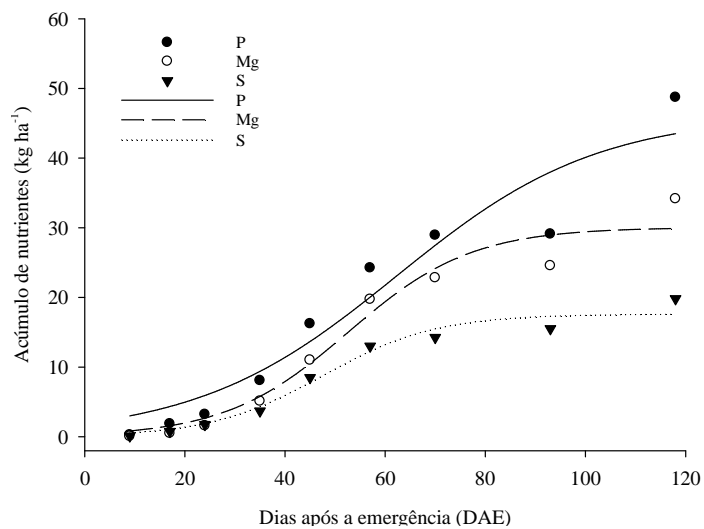
consequentemente, o carregamento de nutrientes minerais para os tecidos das plantas de sorgo. Dessa forma, acredita-se que as altas taxas de acúmulo de macronutrientes nessa época sejam, em parte, efeito da translocação de água. Contudo, a deficiência hídrica nesses estádios não irá prejudicar somente o desenvolvimento das plantas, mas também o acúmulo de macronutrientes, necessários aos processos metabólicos.

**TABELA 11.** Equações de regressão do acúmulo de macronutrientes em plantas de sorgo em função do tempo decorrido após a emergência.

VARIÁVEL	HÍBRIDOS	MODELOS	R <sup>2</sup>
N	BRS610	$\hat{y} = 283,0246 / (1 + \exp(-(x-45,9951)/9,3890))$	0,99**
	DKB599	$\hat{y} = 293,6502 / (1 + \exp(-(x-43,2647)/11,2615))$	0,98**
P	BRS610	$\hat{y} = 46,1872 / (1 + \exp(-(x-62,3085)/19,9895))$	0,93**
	DKB599	$\hat{y} = 91,2190 / (1 + \exp(-(x-81,9528)/25,3144))$	0,94**
K	BRS610	$\hat{y} = 297,5401 / (1 + \exp(-(x-42,3690)/9,8261))$	0,97**
	DKB599	$\hat{y} = 223,5913 / (1 + \exp(-(x-33,1139)/6,8057))$	0,98**
Ca	BRS610	$\hat{y} = 94,7542 / (1 + \exp(-(x-46,6742)/9,4724))$	0,99**
	DKB599	$\hat{y} = 78,7834 / (1 + \exp(-(x-39,6476)/8,8782))$	0,99**
Mg	BRS610	$\hat{y} = 30,0505 / (1 + \exp(-(x-52,6323)/12,3137))$	0,96**
	DKB599	$\hat{y} = 32,9954 / (1 + \exp(-(x-51,2897)/14,9111))$	0,95**
S	BRS610	$\hat{y} = 17,6056 / (1 + \exp(-(x-47,6154)/11,2793))$	0,97**
	DKB599	$\hat{y} = 19,9147 / (1 + \exp(-(x-44,3002)/11,7264))$	0,97**

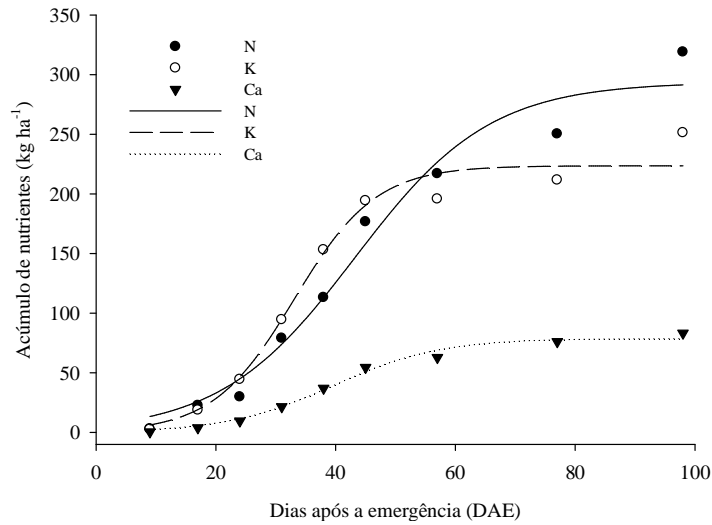


**FIGURA 4.** Marcha de absorção de N, K e Ca em  $\text{kg ha}^{-1}$ , do híbrido forrageiro BRS 610 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

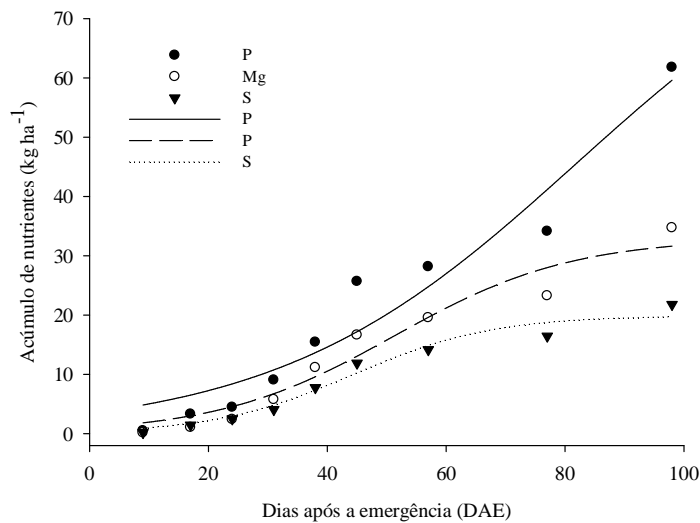


**FIGURA 5.** Marcha de absorção de P, Mg e S, em  $\text{kg ha}^{-1}$ , do híbrido forrageiro BRS 610 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.





**FIGURA 6.** Marcha de absorção de N, K e Ca em kg ha<sup>-1</sup>, do híbrido granífero DKB 599 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.



**FIGURA 7.** Marcha de absorção de P, Mg e S, em kg ha<sup>-1</sup>, do híbrido granífero DKB 599 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

O período em que se iniciam ganhos expressivos de acúmulos de nutrientes ( $PC_{\min}$ , Tabela 12) ocorreram dos 23 aos 28 DAE para o híbrido forrageiro e dos 19 aos 22 DAE para o granífero, com exceção do P. É possível afirmar que as práticas de adubação em cobertura devem ser iniciadas em período anterior a essas épocas. Ao mesmo tempo, o início de estabilização ( $PC_{\max}$ , Tabela 12) no acúmulo de macronutrientes ocorreu aos 65 e 66 DAE para o N e aos 62 e 47 DAE para o K nos híbridos BRS610 e DKB599. Isso significa que nas condições edafoclimáticas do Norte de Minas, a partir dessas épocas, o fornecimento desses nutrientes pouco influencia no rendimento final de grãos ou forragem de sorgo. Os nutrientes P e Mg não apresentaram estabilização em seus acúmulos no final do ciclo.

Por conseguinte, considerando a dinâmica do N e do K no solo, seria interessante realizar a adubação de cobertura com esses nutrientes aproximadamente aos 25 DAE para o BRS610 e aos 20 DAE para o DKB599 ( $PC_{\min}$ ), para que haja adequada disponibilidade deles durante a fase crítica de acúmulo, principalmente em solos com maior probabilidade de perdas por lixiviação.

**TABELA 12.** Ponto da taxa máxima de acúmulo diário ( $X_{TMAD}$ , DAE), taxa máxima de acúmulo diário (TMAD,  $kg\ dia^{-1}$ ) de macronutrientes e ponto de curvatura mínimo ( $PC_{\min}$ , dias) e máxima ( $PC_{\max}$ , dias).

VARIÁVEL	HÍBRIDOS	$X_{TMAD}$	TMAD	$PC_{\min}$	$PC_{\max}$
N	BRS 610	46	7,529	27	65
	DKB 599	43	6,509	21	66
P	BRS 610	62	0,577	22	102
	DKB 599	82	0,903	31	133
K	BRS 610	42	7,554	23	62
	DKB 599	33	8,193	19	47
Ca	BRS 610	47	2,498	28	66
	DKB 599	40	2,218	22	57
Mg	BRS 610	53	0,610	28	77
	DKB 599	51	0,553	21	81
S	BRS 610	48	0,390	25	70
	DKB 599	44	0,424	21	68

Os valores de matéria seca total, matéria seca dos grãos e dos macronutrientes acumulados pelos híbridos de sorgo estão apresentados na tabela 13. As acumulações totais dos macronutrientes na parte aérea dos híbridos em estudo foram, respectivamente, para os híbridos DKB 599 e BRS 610 de: N (319,0 e 289,0 kg ha<sup>-1</sup>), K (251,3 e 331,2 kg ha<sup>-1</sup>), Ca (83,3 e 104,3 kg ha<sup>-1</sup>), P (61,78 e 48,7 kg ha<sup>-1</sup>), Mg (34,7 e 34,2 kg ha<sup>-1</sup>), S (21,8 e 19,8 kg ha<sup>-1</sup>). Esses resultados indicam que o K é o nutriente mais requerido pelas plantas de sorgo forrageiro, ao passo que o N é o nutriente mais requerido pelas plantas de sorgo granífero.

Bressan *et al.* (2001), estudando a cultivar BRS 304 em cultivo protegido, registraram as seguintes acumulações: N (329,45 kg ha<sup>-1</sup>), K (186,98 kg ha<sup>-1</sup>), Ca (76,80 kg ha<sup>-1</sup>), Mg (28,94 kg ha<sup>-1</sup>), P (2,37 kg ha<sup>-1</sup>). Por outro lado, Fonseca *et al.* (2008) observaram a seguinte ordem de extração dos nutrientes da parte aérea: K>N>Ca>Mg>P>S. Estes resultados indicam que o K é o primeiro e o N o segundo nutriente mais requerido pelas plantas de sorgo, o que discorda de Cantarella *et al.* (1997) que indicam o contrário, ou seja, o sorgo tem maior extração de N em relação ao K. Estes resultados discordantes devem-se às condições edafoclimáticas e aos genótipos serem distintos.

A elevada capacidade de extração de nutrientes dos híbridos considerados neste estudo pode ser comprovada quando se compara a resultados obtidos em outros estudos. Pitta *et al.* (2001) relataram extração de K = 99 kg ha<sup>-1</sup>; N = 93 kg ha<sup>-1</sup>; Ca = 22 kg ha<sup>-1</sup>; P = 13 kg ha<sup>-1</sup> e Mg = 8 kg ha<sup>-1</sup>. Todavia, é importante ressaltar que esses valores máximos extraídos pelos híbridos em estudo foram superiores aos obtidos em outros trabalhos (BRESSAN *et al.* 2001, FRIBOURG *et al.* 1976, PITTA *et al.* 2001). Isso em muito se deve à maior capacidade de produção dos híbridos BRS 610 e DKB 599, que foram desenvolvidos mais recentemente, já que os macronutrientes são elementos absorvidos em maior quantidade pelas plantas e têm relação direta com a produção de MS e grãos de sorgo.

Os valores máximos de matéria seca acumulada foram obtidos na maturidade fisiológica, isto é, de 18,3 t ha<sup>-1</sup> para o BRS 610 e 15,5 t ha<sup>-1</sup> para o DKB 599 (TABELA 13). Os resultados obtidos evidenciam a maior capacidade de acúmulo de matéria seca do híbrido forrageiro quando comparado ao híbrido granífero DKB 599 nas condições edafoclimáticas do Norte de Minas Gerais. Tais resultados são superiores aos obtidos por Andrade Neto *et al.* (2010) com 15,3 t ha<sup>-1</sup> e Bressan *et al.* (2001) com 11,13 t ha<sup>-1</sup>, o que pode ser justificado, em parte, pelo uso de irrigação e pelo alto nível tecnológico adotado durante a condução do experimento. Esses resultados demonstram, ao mesmo tempo, a potencialidade que a região possui para o cultivo do sorgo.

Concomitantemente, isso se deve ao fato dessas cultivares serem mais precoces e de menor altura, o que permite o uso de maiores populações de plantas por hectare, além de possuírem maior capacidade de produção de grãos, característica que tem participação significativa na constituição da matéria seca total da planta, dentre outras coisas.

**TABELA 13.** Rendimentos de matéria seca de grãos, matéria seca total e acúmulo de macronutrientes na parte aérea de dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Híbridos	Grãos	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
	.... t ha <sup>-1</sup> ....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
BRS 610	4,4	18,3	288,97	48,73	331,19	104,30	34,16	19,82
DKB 599	6,7	15,5	318,99	61,78	251,26	83,27	34,74	21,78

Trabalho realizado em condições de campo, com população de 180.000 e 140.000 pl ha<sup>-1</sup>, respectivamente para o DKB 599 e BRS 610, Janaúba, MG, 2010.

Os teores médios de nutrientes nas folhas, caule, panícula e grãos, em cada época de coleta podem ser visualizados na tabela 14. Exceção feita para o K no qual se observam maiores concentrações de nutrientes nas folhas, sendo esse órgão a principal fonte de redistribuição dos nutrientes móveis nas plantas de sorgo (N e P, principalmente) durante os estádios

relacionados ao enchimento de grãos. As maiores concentrações de K, por sua vez, foram observadas no caule. Apesar da grande extração de K pela cultura, a exportação desse nutriente pelos grãos é baixa, o que permite a reciclagem do K acumulado.

Observou-se ainda que grandes partes dos nutrientes presentes nas folhas, caules e panículas são redistribuídas, durante a senescência desses tecidos, para os órgãos reprodutivos ou em crescimento; no entanto, o conteúdo percentual em órgãos jovens é maior que em outras fases do ciclo vegetativo, embora, quantitativamente, a necessidade do nutriente seja baixa em razão do pequeno porte da planta. Nota-se claramente uma redução gradativa dos teores de nutrientes com o desenvolvimento das plantas de sorgo. Nas folhas no final da EC1 e da EC2, e nos caules no final da EC2, perceberam-se reduções mais abruptas nos teores dos nutrientes, certamente em decorrência da emissão do caule e da panícula (drenos fortes), respectivamente.

Segundo Ta & Weiland (1992), durante o enchimento dos grãos existem duas fontes de nutrientes para as plantas, a absorvida do solo e a remobilização dos tecidos vegetativos. Em trabalho usando  $^{15}\text{N}$  para medir a taxa de remobilização de N sob condições de campo, em milho, esses autores observaram que as folhas e os caules forneceram 45 % do N remobilizado durante o enchimento dos grãos, enquanto as raízes contribuíram com cerca de 10 %.

Desse modo, os nutrientes absorvidos pelas raízes não são suficientes para suprir as necessidades de enchimento dos grãos; esses são então translocados para os órgãos em crescimento (SOUZA & FERNANDES, 2006). Isso justifica a redução dos teores dos nutrientes com o desenvolvimento das plantas de sorgo, observados na tabela 8, corroborando o trabalho de Andrade *et al.* (1975a) em que o teor de N em tecidos de plantas jovens de milho foi maior que em outras fases do ciclo.

Todavia, considerando-se o Ca e o Mg isoladamente, vê-se que o caule foi o principal responsável pela transferência desses nutrientes na fase

de enchimento de grãos, sendo o principal órgão-fonte desses nutrientes. Tal observação serve para confirmar a hipótese de que o Ca e o Mg são nutrientes de difícil redistribuição na planta, acumulando-se nas folhas, que são o final da via xilemática (LARCHER, 2000).

**TABELA 14:** Teores de N, P, K, Ca, Mg e S, em porcentagem (%), nas diferentes partes da planta de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Estádios	N		P		K		Ca		Mg		S	
	BRS610	DKB599	BRS610	DKB599	BRS610	DKB599	BRS610	DKB599	BRS610	DKB599	BRS610	DKB599
----- % nutriente na folha -----												
1-3 fls	4,78	4,63	0,77	0,77	4,19	4,04	0,79	0,72	0,23	0,23	0,33	0,32
2-5 fls	5,28	5,30	0,91	0,81	4,12	4,41	0,92	0,92	0,25	0,25	0,37	0,35
3-7 fls	3,18	2,88	0,44	0,43	3,76	4,35	0,94	0,95	0,22	0,24	0,25	0,24
4-Difere	2,80	3,05	0,33	0,35	3,82	3,45	0,84	0,80	0,20	0,21	0,17	0,16
5-80 % AF	2,68	2,33	0,33	0,33	4,16	2,89	0,81	0,97	0,19	0,22	0,17	0,16
6-F T D	3,00	2,30	0,30	0,39	1,68	2,17	0,81	0,73	0,24	0,23	0,17	0,16
7-Antese	2,38	2,30	0,28	0,27	1,52	1,56	0,86	0,77	0,24	0,23	0,13	0,14
8-Lei/pas	2,38	2,35	0,26	0,27	1,24	1,40	0,75	0,82	0,21	0,23	0,13	0,13
9-C Negr	2,00	2,10	0,22	0,22	1,28	1,37	0,90	0,81	0,24	0,23	0,13	0,13
Média	3,16	3,03	0,43	0,42	2,87	2,85	0,79	0,83	0,22	0,23	0,20	0,20
----- % nutriente no caule -----												
4-Difere	2,60	2,45	0,43	0,38	4,66	5,29	1,01	1,08	0,32	0,30	0,12	0,15
5-80 % AF	2,28	2,30	0,27	0,26	4,32	4,11	0,89	0,89	0,24	0,26	0,13	0,13
6-F T D	1,50	2,38	0,19	0,25	2,96	3,44	0,67	0,71	0,16	0,21	0,10	0,14
7-Antese	1,23	1,58	0,09	0,29	2,80	3,20	0,49	0,54	0,12	0,16	0,08	0,15
8-Lei/pas	1,15	1,53	0,09	0,27	2,42	2,62	0,46	0,49	0,12	0,15	0,07	0,14
9-C Negr	0,88	0,98	0,06	0,14	2,98	3,57	0,46	0,51	0,12	0,13	0,08	0,13
Média	1,60	1,87	0,19	0,26	3,36	3,70	0,66	0,70	0,18	0,20	0,10	0,14
----- % nutriente na panícula -----												
7-Antese	2,73	2,98	0,48	0,38	1,53	1,70	0,48	0,44	0,20	0,19	0,16	0,17

8-Lei/pas	2,40	2,15	0,27	0,32	1,66	1,71	0,49	0,47	0,16	0,19	0,11	0,15
9-C Negr	1,38	1,80	0,13	0,21	1,36	1,27	0,44	0,47	0,13	0,17	0,09	0,14
Média	2,17	2,31	0,29	0,23	1,52	1,56	0,47	0,46	0,16	0,18	0,12	0,15
----- % nutriente no grão -----												
9-C Negr	2,23	2,45	0,70	0,67	0,99	1,21	0,39	0,37	0,25	0,27	0,14	0,15
Média de quatro repetições.												



Por fim, ao se considerarem as concentrações nos grãos e nos restos culturais (somatório de folhas, caule e panícula), no estágio de camada negra nos grãos, torna-se possível estimar a porcentagem de exportação dos nutrientes, ou seja, a relação entre a concentração nos grãos e a concentração na matéria seca total. Assim, os valores calculados para a exportação de nutrientes do híbrido granífero foram: P = 72,7 %; Mg = 52,1 %; N = 51,5 %; S = 46,1 %; K = 32,3 % e Ca = 29,8 %.

Dessa forma, pode-se dizer que, apesar da alta exigência por potássio, aproximadamente 68 % da quantidade absorvida é passível de retornar ao solo com a mineralização dos restos culturais; logo, o cultivo do sorgo pode ser interessante para a reciclagem do potássio. Entretanto, se for considerada a produção de forragem, essa informação não se torna tão verdadeira, porque as quantidades de nutrientes exportados aumenta muito, sendo de aproximadamente, 9 %; 76 %; 89 %; 97 %; 309 % e 321 % a mais que o híbrido granífero, respectivamente para os nutrientes P, N, Mg, S, K e Ca. Portanto, a quantidades de nutrientes exportadas pela planta de sorgo está na dependência do fim a que se destina a cultura.

Segundo Coelho 2009, no que se refere à exportação dos nutrientes, o P e o N são quase todos translocados para os grãos, seguindo-se o Mg, o K e o Ca. Isso implica que a incorporação dos restos culturais do sorgo devolve ao solo parte dos nutrientes, principalmente potássio, cálcio e magnésio, contidos na palhada. Contudo, mesmo com a manutenção da palhada na área de produção e, em decorrência das grandes quantidades que são exportadas pelos grãos, faz-se necessária a reposição desses nutrientes em cultivos seguintes. Dessa forma, o sorgo destinado a produção de forragem tem recomendações especiais porque todo material é cortado e removido do campo antes que a cultura complete seu ciclo. Com isso, a remoção de nutrientes é muito maior do que aquela para a produção de grãos (BULL, 1993).

### 4.3 Acúmulo de micronutrientes

A análise de variância dos dados referentes aos micronutrientes revelou que, com exceção do acúmulo de Fe, nenhuma das demais características avaliadas foi influenciada pelos híbridos de sorgo (H). Já os estágios fenológicos (E) afetaram significativamente todas as características estudadas, enquanto a interação entre os híbridos e os estádios fenológicos (H x E) foi não significativa para todas as características estudadas. Em nenhuma das variáveis analisadas, foi observado efeito significativo para bloco. Tal ensaio poderia ter sido conduzido em DIC, mas como havia dúvida da homogeneidade da área experimental, optou-se pela blocagem (TABELA 15).

A precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (C.V.) teve valores altos para os acúmulos de Zn e B, sendo o mesmo também observado por Borges (2006) estudando a marcha de absorção de micronutrientes na cultura do milho. Isso se deve à obtenção de valores dos acúmulos desses nutrientes próximos a zero nos estádios iniciais do desenvolvimento das plantas. Entretanto, esses resultados podem ser considerados concretos e muito consistentes.

**TABELA 15.** Resumos das análises de variância (quadrados médios) dos dados relativos a acúmulo de Fe, Zn, Cu, Mn e B, na parte aérea considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

FV	Fe	Zn	Cu	Mn	B
H	0,055**	0,000002 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0019 <sup>ns</sup>	0,00069 <sup>ns</sup>
EST	0,54**	0,046**	0,008**	1,89**	0,072**
H*E	0,0094 <sup>ns</sup>	0,00039 <sup>ns</sup>	0,00002 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>	0,0013 <sup>ns</sup>
B	0,0028 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	0,000092 <sup>ns</sup>	0,028 <sup>ns</sup>	0,00046 <sup>ns</sup>
CV (%)	22,28	34,21	27,49	26,47	39,42

\*\* (P≤0,01); \* (P≤0,05); <sup>NS</sup> não significativos.

Analisando o acúmulo de micronutrientes ao longo do ciclo das plantas de sorgo, verificou-se um pico de absorção a partir do estágio 3 e que se estendeu até o final do ciclo, com exceção para o boro cujo pico ocorre um pouco mais tarde, a partir do estágio 4 (diferenciação); e para o Fe, em que observou-se um aumento da absorção pouco mais cedo a partir do estágio 2 (5 folhas), prolongando-se até o final do ciclo (TABELA 16).

**TABELA 16.** Valores médios de acúmulo de Fe, Zn, Cu, Mn e B em kg ha<sup>-1</sup>, considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Estádios	Fe	Zn	Cu	Mn	B
1 - EC1 - 3 folhas	0,0090 G	0,0012 E	0,0005 E	0,0047 F	0,0007 E
2 - EC1 - 5 folhas	0,0533 G	0,0076 E	0,0042 E	0,0323 F	0,0049 E
3 - EC1 - 7 folhas	0,1569 F	0,0194 E	0,0084 E	0,0762 F	0,0110 E
4 - EC2 - Diferenci.	0,2495 E	0,0573 D	0,0234 D	0,2355 E	0,0245 E
5 - EC2 - 80 % AF	0,3757 D	0,1038 C	0,0464 C	0,5174 D	0,0564 D
6 - EC2 - F T D	0,5509 C	0,1312 C	0,0552 C	0,7670 C	0,0955 C
7 - EC3 - Antese	0,5863 C	0,1553 B	0,0627 B	0,8766 C	0,1214 C
8 - EC3 - Leit/past	0,6234 B	0,1579 B	0,0662 B	1,0695 B	0,1871 B
9 - EC3 - C Negra	0,6913 A	0,2132 A	0,0891 A	1,3077 A	0,2760 A

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Em média, com exceção do ferro, os híbridos apresentaram comportamento semelhante para o acúmulo dos micronutrientes no decorrer de seus estádios fenológicos. Para o Fe, observou-se superioridade de acúmulo na parte aérea das plantas de sorgo forrageiro quando comparado com o híbrido granífero (TABELA 17). Com os resultados obtidos fica evidenciado que o híbrido BRS 610 acumula, durante o ciclo da cultura, maiores quantidades de Fe do que o híbrido DKB 599.

A superioridade da cultivar forrageira quanto à acumulação de Fe, comparada com o granífero, em partes se deve à maior quantidade desse nutriente acumulada no período compreendido entre o início do enchimento de grãos e a maturidade fisiológica, pois foi observado teores de ferro nos grãos muito superiores para o híbrido forrageiro (TABELA 21)

**TABELA 17.** Valores médios de acúmulo de Fe, Zn, Cu, Mn e B em kg ha<sup>-1</sup>, considerando dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos híbridos. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Híbrido	Fe	Zn	Cu	Mn	B
BRS 610	0,3940 a	0,0943 a	0,0379 a	0,5482 a	0,0833 a
DKB 599	0,3385 b	0,0939 a	0,0413 a	0,5378 a	0,0895 a

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste F (P≤0,05).

É importante enfatizar que o híbrido granífero (DKB 599) utilizado apresentou ciclo de desenvolvimento de 98 dias (precoce), ao passo que o forrageiro (BRS 610) apresentou ciclo de 118 dias (semiprecoce) até a maturação fisiológica, isto é, trata-se de materiais com diferentes ciclos e que essa diferença foi manifestada principalmente na EC3 (TABELA 2). Dessa forma, a cultivar forrageira teve mais tempo para acumular matéria seca nos grãos por ser de ciclo maior, justificando em parte a diferença para acúmulo de ferro observado entre os híbridos estudados.

Por meio do estudo de regressão, foram observadas tendências semelhantes para o acúmulo de todos os micronutrientes na parte aérea das plantas de sorgo. Eles foram absorvidos em todo o seu ciclo, variando consideravelmente com os diferentes estádios de desenvolvimento da planta, sendo mínimas nos estádios iniciais, aumentando de maneira considerável com a elevação da taxa de crescimento, com posterior estabilização no terço final do desenvolvimento das plantas de sorgo (FIGURAS 8 e 9).

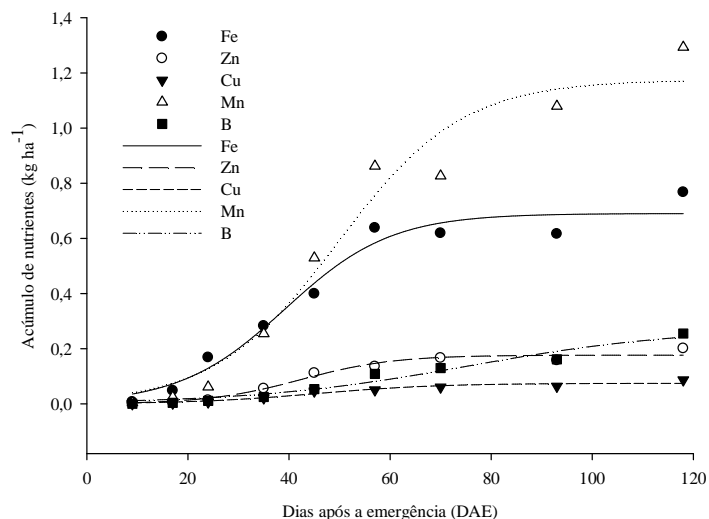
As maiores TMAD de Fe, Zn, Cu e Mn ocorreram entre 39 e 50 DAE para o híbrido forrageiro, e 36 a 44 DAE para o granífero (TABELA 18). Essa foi a época de maior exigência em micronutrientes pela cultura do sorgo, sendo imprescindível a disponibilidade desses nutrientes no solo para a absorção pelas raízes. Já para o boro a época de maior exigência ( $X_{TMAD}$ ) se deu pouco mais tarde, aos 75 e 68 DAE respectivamente para o BRS610 e o DKB599.

**TABELA 18.** Ponto da taxa máxima de acúmulo diário ( $X_{TMAD}$ ), taxa máxima de acúmulo diário (TMAD, g dia<sup>-1</sup>) de micronutrientes e ponto de curvatura mínimo ( $PC_{min}$ , dias) e máxima ( $PC_{max}$ , dias).

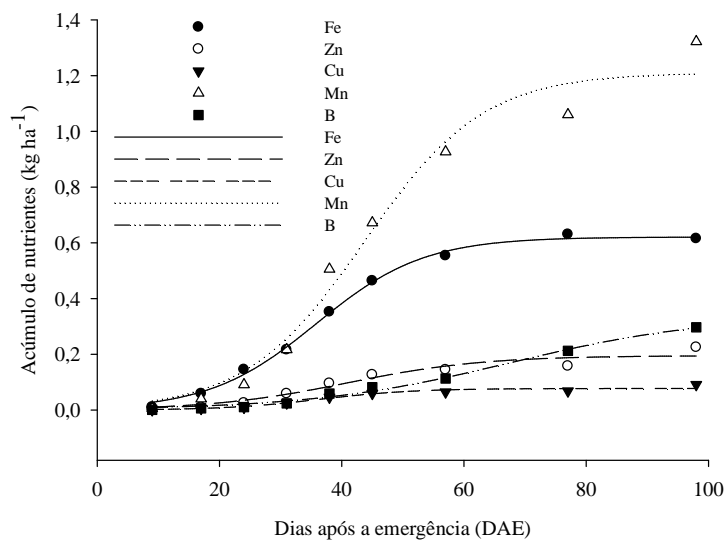
VARIÁVEL	HÍBRIDOS	$X_{TMAD}$	TMAD	$PC_{min}$	$PC_{max}$
Fe	BRS 610	39	16,531	18	60
	DKB 599	36	17,644	18	53
Zn	BRS 610	42	4,818	24	61
	DKB 599	41	4,376	19	63
Cu	BRS 610	45	1,527	21	70
	DKB 599	36	2,475	21	52
Mn	BRS 610	50	23,976	25	74
	DKB 599	44	31,143	24	63
B	BRS 610	75	3,213	33	118
	DKB 599	68	5,213	35	100

O período em que se iniciam ganhos expressivos de acúmulos de nutrientes ( $PC_{min}$ ) ocorreram dos 18 aos 25 DAE para o híbrido forrageiro e dos 18 aos 24 DAE para o granífero, com exceção do boro. Entretanto, é possível afirmar que as práticas de adubação em cobertura devem ser iniciadas em período anterior a essas épocas. Ao mesmo tempo, o início de estabilização ( $PC_{max}$ ) no acúmulo de macronutrientes ocorreu aos 60 e 74 DAE e 52 e 63 DAE para o BRS610 e DKB599 respectivamente. Isso significa que nas condições edafoclimáticas do Norte de Minas, a partir dessas épocas, o fornecimento desses nutrientes pouco influencia no rendimento final de grãos ou forragem de sorgo. O B não apresentou estabilização em seus acúmulos no final do ciclo.

Quanto à marcha de absorção dos micronutrientes, baseado em resultados obtidos com cinco variedades de milho por Andrade *et al.* (1975b), verificou-se que os períodos de exigência máxima foram entre 30 e 50 dias para manganês e zinco, resultados muito próximos do presente estudo, sendo de 41 aos 50 DAE.



**FIGURA 8.** Marcha de absorção de Fe, Zn, Cu, Mn e B, em kg ha<sup>-1</sup>, do híbrido forrageiro BRS610 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.



**FIGURA 9.** Marcha de absorção de Fe, Zn, Cu, Mn e B, em kg ha<sup>-1</sup>, do híbrido granífero DKB 599 em função dos dias após a emergência (DAE). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

**TABELA 19.** Equações de regressão de micronutrientes em plantas de sorgo em função do tempo decorrido após a emergência.

VARIÁVEL	HÍBRIDOS	MODELOS	R <sup>2</sup>
Fe	BRS 610	$\hat{y} = 0,6903/(1+\exp(-(x-39,2761)/10,4236))$	0,97**
	DKB 599	$\hat{y} = 0,6209/(1+\exp(-(x-35,8583)/8,7904))$	0,99**
Zn	BRS 610	$\hat{y} = 0,1768/(1+\exp(-(x-42,3888)/9,1477))$	0,97**
	DKB 599	$\hat{y} = 0,1952/(1+\exp(-(x-40,9251)/11,1523))$	0,94**
Cu	BRS 610	$\hat{y} = 0,0748/(1+\exp(-(x-45,4069)/12,2435))$	0,95**
	DKB 599	$\hat{y} = 0,0775/(1+\exp(-(x-36,4322)/7,7831))$	0,96**
Mn	BRS 610	$\hat{y} = 1,1749/(1+\exp(-(x-49,7111)/12,2497))$	0,97**
	DKB 599	$\hat{y} = 1,2104/(1+\exp(-(x-43,7140)/9,7090))$	0,98**
B	BRS 610	$\hat{y} = 0,2750/(1+\exp(-(x-75,4679)/21,3853))$	0,96**
	DKB 599	$\hat{y} = 0,3399/(1+\exp(-(x-67,5986)/16,2879))$	0,99**

Os valores de matéria seca total, matéria seca dos grãos e dos micronutrientes acumulados pelos híbridos de sorgo estão apresentados na tabela 20. As acumulações totais dos micronutrientes na parte aérea dos híbridos em estudo seguiram a seguinte ordem decrescente de valores: Mn (1,308 kg ha<sup>-1</sup>), Fe (0,691 kg ha<sup>-1</sup>), B (0,276 kg ha<sup>-1</sup>), Zn (0,213 kg ha<sup>-1</sup>) e Cu (0,089 kg ha<sup>-1</sup>).

Essa sequência está de acordo com Prado *et al.* (2007) que, estudando omissão de nutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de sorgo (cv. BRS 3010), verificaram as seguintes acumulações no tratamento completo: Mn (0,63 kg ha<sup>-1</sup>), Fe (0,324 kg ha<sup>-1</sup>), B (0,162 kg ha<sup>-1</sup>), Zn (0,144 kg ha<sup>-1</sup>) e Cu (0,018 kg ha<sup>-1</sup>), sendo também a mesma sequência observada por Prado *et al.* (2008). É importante ressaltar que esses valores máximos extraídos pelos híbridos em estudo foram superiores aos obtidos por Prado *et al.* (2007), porém esses autores não conduziram as plantas de sorgo até o final do ciclo, em que mais matéria seca e consequentemente mais nutrientes seriam acumulados com o desenvolvimento das plantas. Bressan *et al.* (2001), utilizando a cultivar BRS 304 em cultivo protegido, registraram as seguintes acumulações: Mn (1,351 kg ha<sup>-1</sup>), Zn (0,737 kg ha<sup>-1</sup>) e Cu (0,406 kg ha<sup>-1</sup>).

Estes resultados indicam que o Mn é o micronutriente mais requerido pelas plantas de sorgo. De maneira semelhante ao presente estudo, o Mn e o Fe foram também os dois micronutrientes com maior acúmulo na parte aérea de plantas de milho observado por Duarte (2003). Conforme Gorsline *et al.* (1964), a acumulação de Mn é geneticamente controlada; contudo, é provável que a interação genótipo-ambiente seja também um fator importante. Assim, é bem provável que as condições ambientais em que esses experimentos foram realizados sejam bem propícias para a absorção do Mn nas partes aéreas das plantas de sorgo e de milho.

**TABELA 20.** Rendimentos de matéria seca de grãos, matéria seca total e acúmulo de micronutrientes na parte aérea de dois híbridos de sorgo (BRS 610 e DKB 599). UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Híbridos	Grãos	MS	Fe	Zn	Cu	Mn	B
	..... t ha <sup>-1</sup> .....		..... kg ha <sup>-1</sup> .....				
BRS 610	4,4	18,3	0,767	0,201	0,087	1,293	0,255
DKB 599	6,7	15,5	0,615	0,225	0,091	1,322	0,297

Trabalho realizado em condições de campo, com população de 180.000 e 140.000 pl ha<sup>-1</sup>, respectivamente para o DKB 599 e BRS 610, Janaúba, MG, 2010.

Os teores médios dos micronutrientes nas folhas, caule, panícula e grãos, em cada época de coleta, podem ser visualizados na tabela 17. Exceção feita para o Zn, em que se observou que as maiores concentrações de micronutrientes estavam alocadas nas folhas, sendo estas o principal órgão fonte de redistribuição dos micronutrientes nas plantas de sorgo. Todavia, considerando-se o Zn isoladamente, vê-se que as maiores concentrações foram observadas no caule, sendo este o principal órgão responsável pela transferência desse nutriente na fase de enchimento de grãos. Assim como para os macronutrientes, foi verificada redução gradativa dos teores de nutrientes com o desenvolvimento das plantas de sorgo.

Os teores médios dos micronutrientes nos dois híbridos, nos grãos no estágio 9 (camada negra), foram: Fe – 0,004 %; Zn – 0,003 %; Cu – 0,001



%; Mn – 0,007 % e B – 0,003 % (TABELA 17), resultando assim na seguinte ordem Mn > Fe > B = Zn > Cu.

Santos *et al.* (2009), estudando a influência do Cu e Zn no crescimento vegetativo e na produção do sorgo, obtiveram teores de Zn e Cu muito semelhantes com os do presente trabalho, sendo de 29,9 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e 10,5 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, correspondendo a 0,00299 % e 0,00105 % respectivamente para o Zn e Cu. Esses teores foliares são considerados adequados para o desenvolvimento das plantas, tendo em vista que para a cultura do sorgo eles são de 10 mg kg<sup>-1</sup> de Cu e 20 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (MALAVOLTA *et al.*, 1997), apesar de Ohki (1984) afirmar que o nível crítico para deficiência de Zn, na quarta folha de sorgo a partir do topo, é de 13 mg kg<sup>-1</sup>.

O Cu é um elemento requerido para o bom desenvolvimento das plantas, visto que plantas com deficiência ou excesso deste nutriente apresentam área foliar reduzida (FAGERIA, 2002; KHURANA *et al.* 2006; MOCQUOT *et al.* 1996). Santos *et al.* (2009) não constataram efeito significativo na área foliar das plantas de sorgo à aplicação de doses de Zn ao solo.

**TABELA 21.** Teores de Fe, Zn, Cu, Mn e B, em porcentagem (%), nas diferentes partes da planta de sorgo (BRS 610 e DKB 599), em função dos estádios fenológicos da cultura. UNIMONTES, Janaúba, MG, 2011.

Estádios	Fe		Zn		Cu		Mn		B	
	BRS610	DKB599	BRS610	DKB599	BRS610	DKB599	BRS610	DKB599	BRS610	DKB599
----- % nutriente na folha -----										
1-3 fls	0,0219	0,0167	0,0024	0,0025	0,0011	0,0011	0,0106	0,0093	0,0019	0,0013
2-5 fls	0,0236	0,0141	0,0028	0,0023	0,0014	0,0013	0,0122	0,0097	0,0019	0,0015
3-7 fls	0,0229	0,0144	0,0019	0,0025	0,0010	0,0010	0,0085	0,0084	0,0015	0,0011
4-Difere	0,0133	0,0083	0,0015	0,0018	0,0009	0,0009	0,0092	0,0070	0,0011	0,0009
5-80 % AF	0,0097	0,0079	0,0013	0,0015	0,0010	0,0009	0,0078	0,0090	0,0012	0,0014
6-F T D	0,0100	0,0076	0,0010	0,0010	0,0007	0,0007	0,0107	0,0077	0,0013	0,0012
7-Antese	0,0078	0,0080	0,0006	0,0013	0,0006	0,0006	0,0092	0,0119	0,0017	0,0015
8-Lei/pas	0,0068	0,0090	0,0006	0,0013	0,0005	0,0005	0,0116	0,0107	0,0011	0,0017
9-C Negr	0,0074	0,0080	0,0005	0,0003	0,0005	0,0003	0,0113	0,0134	0,0017	0,0016
Média	0,0137	0,0104	0,0014	0,0016	0,0008	0,0008	0,0100	0,0097	0,0015	0,0014
----- % nutriente no caule -----										
4-Difere	0,0052	0,0076	0,0065	0,0045	0,0009	0,0016	0,0195	0,0160	0,0008	0,0006
5-80 % AF	0,0027	0,0040	0,0040	0,0033	0,0007	0,0011	0,0146	0,0155	0,0004	0,0003
6-F T D	0,0030	0,0029	0,0018	0,0030	0,0004	0,0009	0,0069	0,0112	0,0008	0,0008
7-Antese	0,0026	0,0031	0,0018	0,0020	0,0003	0,0008	0,0033	0,0061	0,0004	0,0003
8-Lei/pas	0,0024	0,0029	0,0018	0,0018	0,0004	0,0007	0,0032	0,0037	0,0002	0,0003
9-C Negr	0,0018	0,0025	0,0010	0,0010	0,0001	0,0003	0,0034	0,0041	0,0003	0,0004
Média	0,0029	0,0038	0,0028	0,0026	0,0005	0,0009	0,0085	0,0094	0,0005	0,0005
----- % nutriente na panícula -----										
7-Antese	0,0037	0,0030	0,0024	0,0018	0,0007	0,0008	0,0078	0,0078	0,0011	0,0011

8-Lei/pas	0,0026	0,0018	0,0004	0,0013	0,0004	0,0006	0,0070	0,0099	0,0028	0,0029
9-C Negr	0,0023	0,0016	0,0004	0,0005	0,0005	0,0004	0,0058	0,0090	0,0017	0,0025
Média	0,0029	0,0021	0,0010	0,0012	0,0005	0,0006	0,0069	0,0089	0,0019	0,0022
----- % nutriente no grão -----										
9-C Negr	0,0048	0,0023	0,0024	0,0028	0,0010	0,0009	0,0078	0,0068	0,0025	0,0025

Média de quatro repetições.

Finalmente, ao se considerarem as concentrações nos grãos e nos restos culturais (somatório de folhas, caule e panícula), no estágio de camada negra nos grãos, torna-se possível estimar a porcentagem de exportação dos nutrientes, ou seja, a relação entre a concentração nos grãos e a concentração na matéria seca total. Assim, de forma inversa à sequência observada, os valores calculados para a exportação foram: Zn = 77,93 %; Cu = 62,92 %; B = 60,15 %; Fe = 32,13 % e Mn = 29,66 %, considerando a média dos dois híbridos em estudo.

Esses resultados podem justificar que as deficiências de Zn são as mais frequentes, nas condições tropicais brasileiras, e ao mesmo tempo revelam que a adubação com zinco, na cultura do sorgo, em áreas de cerrado, torna-se prática agrícola importante e fundamental para garantir a sustentabilidade da cultura, evitando o esgotamento gradativo dos solos em áreas de cultivo tradicional.

As informações do presente estudo aliadas ao conhecimento sobre fontes e modos eficientes de aplicação do Zn na cultura do sorgo podem solucionar o problema que, segundo Prado *et al.* (2008), é uma das limitações à maior produtividade da cultura do sorgo no Brasil. Este fato torna-se relevante em razão da importância do Zn na nutrição das plantas, sendo que a mais conhecida é sua participação na biossíntese do ácido indolacético (MARSCHNER, 1995), e ativador de uma série de enzimas importantes para o metabolismo das plantas. Nesse sentido, diversos autores têm indicado resposta positiva de plantas de sorgo à aplicação de Zn (ALVAREZ *et al.* 1978; LOCKMAN, 1972; RITCHEY *et al.* 1986).

## 6 CONCLUSÕES

As cultivares de sorgo acumulam matéria seca, macro e micronutrientes até a maturidade fisiológica quando são obtidos os acúmulos máximos.

A cultivar BRS 610 (forrageiro) acumula maiores quantidades de matéria seca, K, Ca e Fe nas partes aéreas das plantas.

A cultivar DKB599 (granífero) acumula maiores quantidades de P nas partes aéreas das plantas.

Os acúmulos de matéria seca, macro e micronutrientes em função dos estádios fenológicos da cultura do sorgo se ajustam ao modelo sigmoidal durante o ciclo da cultura.

Plantas de sorgo forrageiro acumulam nutrientes em sua parte aérea na seguinte ordem decrescente de acúmulo:  $K > N > Ca > P > Mg > S$ .

Plantas de sorgo granífero acumulam nutrientes em sua parte aérea na seguinte ordem decrescente de acúmulo:  $N > K > Ca > P > Mg > S$ .

O Mn e o Fe são os micronutrientes acumulados em maior quantidade na parte aérea das plantas de sorgo, seguidos pelo B, Zn e Cu.

O Zn e o Cu são os micronutrientes mais exportados em lavouras de sorgo.

A época mais propícia para realizar adubação nitrogenada e potássica em cobertura é de 25 e 20 DAE, respectivamente para os híbridos BRS610 e DKB599.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L. M. S.; MORAIS, A. V. C.; GUIMARÃES, D. P. Clima. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 3. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2) Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/clima.htm>>. Acesso em: 16 fev. 2009.

ALVAREZ V. V. H.; DEFELIPO, B. V.; BARROS, N. F. Resposta do sorgo à aplicação de micronutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo de Itamarandiba, Minas Gerais. **Ceres**, São Paulo, v. 25, p. 79-86, 1978.

ANDRADE NETO, R. C.; MIRANDA, N. O.; DUDA, G. P. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 124-130, 2010.

ANDRADE, A. G.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. 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"**, Piracicaba, v. 32, p. 115-149, 1975a.

ANDRADE, A. G.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.). II. Acumulação de macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 32, p. 150-172, 1975b.

ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 425 p.

BELLO, N. J. An investigation of the agroclimatic potential of the forest-savanna transition zone of Nigeria for the cultivation of sorghum. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 33, p. 157-171, 1997.

BISSANI, C. A. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação das culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2008. 344 p.

BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho**. 2006. 168 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

BRESSAN, W.; SIQUEIRA, J. O.; VASCONCELLOS, C. A. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 2, p. 315-323, fev. 2001.

BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. 301 p.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p. 130-145.

CAMACHO, R.; MALAVOLTA, E.; GUERRERO-ALVES, J. Crescimento vegetativo de sorgo granífero em resposta à nutrição fosfatada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 771-776, 2002.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. Van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. Van. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 45-47. Boletim Técnico, 100.

CARELLI, M. L. C; UNGARO, M. R. G.; FAHL, I. Níveis de nitrogênio, metabolismo, crescimento e produção de girassol. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 123-130, 1996.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes**: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação**: cultivo do sorgo. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, set. 2009. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/adubacao.htm>>. Acesso em: 18 ago. 2010.

COELHO, A. M. et al. **Seja o doutor do seu Sorgo**. Encarte de informações agronômicas, n. 100. Sete Lagoas: Embrapa, 2002, 24 p. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/sorgo/doutorsorgo.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2010.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. 359 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Central de informações agropecuárias: safras 2010**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=101.10>>. Acesso em: 17 jul. 2010.

DUARTE, A. P. *et al.* Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperadas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 1-20, 2003.

FAGERIA, N. K. Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1765-1772, 2002.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: [s.n.], 2000. 402 p.



FONSECA, I. M.; PRADO, R. M. de.; ALVES, A. U. Crescimento e nutrição do sorgo (cv. BRS 304) em solução nutritiva. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Jaboticabal, v. 8, n. 2, p. 113-124, 2008.

FONTES, P. C. R. Nutrição mineral e adubação. In: \_\_\_\_\_. **Produção de batata**. Brasília: Linha Gráfica, 1987. p. 40-55.

FREEDEN, A. L.; RAO, I. M.; TERRY, N. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycyne max*. **Plant Physiology**, Viçosa, v. 89, p. 225-230, 1989.

FRIBOURG, H. A. *et al.* Nutrient uptake by corn and grain sorghum silage as affected by soil type, planting date, and moisture regime. **Agronomy Journal**, Madison, p. 260-263. 1976.

GORSLINE, G. W.; THOMAS, W. I.; BAKER, D. E. Inheritance of P, K, Mg, Cu, Mn, Al and Fe concentration by corn (*Zea mays* L.) leaves and grain. **Crop Science**, Madison, v. 4, p. 207-210, 1964.

HIROCE, R.; FURLANI, A. MC.; LIMA, M. **Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1989. 24 p. Boletim Científico, 17.

KHURANA, N.; SINGH, M. V.; CHATTERJEE, C. Copper stress alters physiology and deteriorates seed quality of rapeseed. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 29, p. 93-101, 2006.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. **Clima: cultivo do sorgo**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, set. 2009. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/importancia.htm>>. Acesso em: 02 jul. 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LOCKMAN, R. B. Mineral composition of grain sorghum plant samples: part II: as affected by soil acidity, soil fertility, stage of growth, variety, and

climate factors. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 3, p. 283-293, 1972.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento In: FERRI, M. G. (Coord.). **Fisiologia vegetal**, v. 1. São Paulo: EPV/USP, 1979. p. 331-349.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Ecofisiologia: cultivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo 5. ed. set. 2009. Disponível em:  
<<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/importancia.htm>>.  
Acesso em: 28 jun. 2010.

MAGGIO, M. A. **Acúmulo de massa seca e extração de nutrientes por plantas de milho doce híbrido “tropical”**. 2006. 47 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produção Agrícola)-Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2006.

MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. D. **Melhoramento e produção de milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2.

MALAVOLTA, E. **Abc da adubação**. 5. ed. São Paulo: Ceres, 1989. 292 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia: Nutriplant, 1986. 70 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989. 201 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV, 2005. p. 451.

MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTENS, D. C.; WESTERMANN, D. T. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M. (Eds.). **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 549-592.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bem: Intern. Postash Institute, 1987. 687 p.

MOCQUOT, B.; VANGRONSVELD, J.; CLIJESTERS, H. Copper toxicity in young maize (*Zea mays* L.) plants: effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and enzyme activities. **Plant and Soil**, The Hague, v. 182, p. 287-300, 1996.

MOURA, W. M. *et al.* Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 306-312, 2001.

OHKI, K. Zinc nutrition related to critical deficiency and toxicity levels for Sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, p. 253-256, 1984.

OMETTO, J. C. Classificação climática. In: OMETTO, J. C. **Bioclimatologia tropical**. São Paulo: Ceres, 1981. p. 390-398.

PINHO, R. G. V.; VASCONCELOS, R. C. de. Cultura do sorgo. Lavras: UFLA, 2002. 76 p.

PITTA, G. V. E.; VASCONCELLOS, C. A.; ALVES, V. M. C. Fertilidade do solo e nutrição mineral do sorgo forrageiro. In: CRUZ, J. C. et al. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. cap. 9, p. 243-262.

PRADO, R. M. de.; ROMUALDO, L. M.; ROZANE, D. E. Aplicação de zinco em sementes de sorgo cv. BRS 304: efeitos na nutrição e no crescimento inicial. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 471-478, 2008.

PRADO, R. M. de.; ROMUALDO, L. M.; ROZANE, D. E. Omissão de macronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de sorgo (cv. BRS 3010) cultivadas em solução nutritiva. **Científica**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 122-128, 2007.

REINBOTT, T. M.; CONLEY, S. P.; BLEVINS, D. G. No-tillage corn and grain sorghum response to cover crop and nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 4, p. 1158-1163, 2004.

RESENDE A. V. de; COELHO, A. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Adubação maximiza o potencial produtivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa, 2009, p. 8. Circular Técnica, 119.

RIBAS, P. M. **Importância econômica**: cultivo do sorgo. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, set. 2009. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/importancia.htm>>. Acesso em: 6 mar. 2010.

RITCHEY, K. D.; COX, F. R.; GALRÃO, E. Z. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 215-225, 1986.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Potafós**, São Paulo, n. 15, 2003.

SANTI, A.; CAMARGOS, S. L.; PEREIRA, W. L. M. Deficiências de micronutrientes em sorgo (*Sorghum bicolor*). **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 3, p. 54-63, 2005.

SANTI, A.; CAMARGOS, S. L.; SCARAMUZZA, W. L. M. P. Deficiências de macronutrientes em sorgo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 228-233, 2006.

SANTOS, H. C.; FRAGA, V. S.; RAPOSO, R. W. C. Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos. I. Crescimento vegetativo e produção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 125-130, 2009.

SCAPIN, C. A.; CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 683-686, 1995.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: UFV, 2006. cap. 9, p. 241-244.

STAUD, L. A. **Fertilização fosfatada e potásica nas características agrônomicas e tecnológicas do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), na região de Dourados, MS**. Jaboticabal: UNESP. 1996. 124 p.

STIPP, S. R.; YAMADA, T. **Nutrição e adubação do milho**. Piracicaba: Informações Agrônomicas, 1988, p. 44.

TA, C. T.; WEILAND, R. T. Nitrogen partitioning in maize during ear development. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 443-451, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 719.

USHERWOOD, N. R. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T. *et al.* **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p. 227-235.

VENEGAS, J. G.; HARRIS, R. S.; SIMON, B. A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **Journal of Applied Physiology**, v. 84, n.1, p. 389-395, 1998.

ZAGO, C. P.; GUIMARÃES, F. B. Sistemas de produção para sorgo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27., 2008, Londrina. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 1 CD-ROM.