

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA**

**MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRO E MICRONUTRIENTES NAS
CULTURAS DO SORGO SACARINO E SORGO BIOMASSA.**

Autor: Thomas Jefferson Cavalcante
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi

**RIO VERDE - GO
AGOSTO - 2017**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA**

**MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRO E MICRONUTRIENTES NAS
CULTURAS DO SORGO SACARINO E SORGO BIOMASSA.**

Mestrando: Thomas Jefferson Cavalcante
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Produção Vegetal Sustentável do Cerrado.

**RIO VERDE - GO
AGOSTO– 2017**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

C376m Cavalcante, Thomas Jefferson
Marcha de absorção de macro e micronutrientes nas
culturas do sorgo sacarino e sorgo biomassa / Thomas
Jefferson Cavalcante; orientador Gustavo Castoldi;
co-orientador Carlos Ribeiro Rodrigues. -- Rio
Verde, 2017.
62 p.

Dissertação (Mestrado em Mestrado em Ciências
Agrárias-Agronomia) -- Instituto Federal Goiano,
Câmpus Rio Verde, 2017.

1. Sorghum bicolor. 2. Nutrição mineral. 3.
Acúmulo de matéria seca. I. Castoldi, Gustavo ,
orient. II. Rodrigues, Carlos Ribeiro , co-orient.
III. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS - AGRONOMIA

MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRO E
MICRONUTRIENTES NAS CULTURAS DO SORGO
SACARINO E SORGO BIOMASSA

Autor: Thomas Jefferson Cavalcante
Orientador: Dr. Gustavo Castoldi

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia- Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 23 de agosto de 2017.

Prof. Dr. Cláudio Hideo Martins da Costa
Avaliador externo
UFG-Campus Jataí

Prof. Dr. Adriano Jakelaitis
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Gustavo Castoldi
Presidente da banca
IF Goiano – Campus Rio Verde

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele não estaria aqui, por me iluminar, guiar e por ter dado a permissão de chegar onde estou e pela perseverança concedida na concretização desse sonho em fazer mestrado.

Aos meus pais, Manoel Jorge Cavalcante Neto e Maria Isabel Dias Cavalcante, que me apoiaram e não mediram esforços para que eu realizasse o que tanto almejava e sempre me dão força, incentivando para nunca desistir de meus objetivos.

À minha irmã, Maisa Dias Cavalcante, que sempre me encorajou e estava sempre ali para me aconselhar. E a todos da minha família tanto paterna quanto materna, que de alguma forma estavam presente na minha vida.

Ao meu orientador Dr. Gustavo Castoldi, que estava sempre presente me orientando, com informações valiosas e sendo um amigo, pois sempre me deu conselhos e força para buscar meus ideais.

À minha namorada, Janniffer Custódio da Silva, pela sua paciência, carinho, conselhos e motivação, sendo uma verdadeira companheira.

Gostaria de agradecer aos professores Dr. Cláudio Hideo Martins da Costa e Dr. Adriano Jakelaitis, por terem aceitado participar de minha banca.

Gostaria de agradecer o Professor Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues, por ter sido meu coorientador e ter contribuído muito com minha formação acadêmica. A todos os professores do Instituto Federal Goiano - Campus de Rio Verde, que contribuíram para minha formação, pois esse trabalho tem um pouco de cada um.

Também a todos que me ajudaram nas análises e coletas do experimento: Mateus Frango, Alice Albert, Jessica Lauanda, Kássia de Paula e Luiz Henrique, e a todos os outros colegas de laboratório de química agrícola, que sempre estiveram presentes e me ajudaram. Aos meus amigos que sempre estiveram presentes nas horas de trabalho e também nas horas de lazer.

Queria agradecer à empresa Nexsteppe e a todos os funcionários, por todo apoio na realização desse trabalho, faço isso em nome do Jardécio Ervilha.

Agradeço à CAPES, pela bolsa de estudos, e ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, pela oportunidade deste trabalho.

A todos que contribuíram direta e indiretamente na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Thomas Jefferson Cavalcante nasceu em Quirinópolis – GO, em 01 de novembro de 1992, filho de Manoel Jorge Cavalcante Neto e Maria Isabel Dias Cavalcante. Coursou Engenharia Agrícola na Universidade Estadual de Goiás- Campus Santa Helena de Goiás, entre 2010 e 2014. Em 2015 ingressou no IF Goiano – Campus Rio Verde, no programa de pós-graduação *Stricto Sensu*, Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia, com linha de pesquisa em tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água.

ÍNDICE

	Páginas
ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xii
RESUMO	13
ABSTRACT	14
1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Sorgo Sacarino	16
2.2 Sorgo Biomassa.....	16
2.3 Fenologia da cultura do sorgo	17
2.4 Potencial de produção do sorgo etanol e sorgo biomassa	18
2.5 Nutrição mineral para o sorgo sacarino e sorgo biomassa	20
OBJETIVOS.....	22
3.1 Objetivo Geral	22
3.2 Objetivos Específicos	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
CAPÍTULO I.....	24
INTRODUÇÃO	25
MATERIAL E MÉTODOS	26
RESULTADO E DISCUSSÃO	29
CONCLUSÕES.....	32
AGRADECIMENTOS	33
REFERÊNCIAS.....	33
CAPÍTULO II	42
INTRODUÇÃO	43
MATERIAL E MÉTODOS	44
RESULTADO E DISCUSSÃO	46
CONCLUSÕES.....	50
AGRADECIMENTOS	50
REFERÊNCIAS.....	50
Conclusão Geral	59

ÍNDICE DE TABELAS

Revisão de Literatura	Paginas
Tabela 1 Estádios fenológicos de uma planta de sorgo, segundo Kochenower et al.,2016.....	18
Tabela 2 Exemplo de algumas características de híbridos modernos de sorgo sacarino (Malibu 5010) e sorgo biomassa (Palo Alto 2562).....	19
Capítulo I: Marcha de absorção de macro e micronutriente na cultura do sorgo sacarino	
Tabela 1 Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de massa seca de sorgo sacarino em função do número de dias após a emergência.....	36
Tabela 2 Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de N, P e K na parte aérea de sorgo sacarino em função do número de dias após a emergência, e os respectivos valores.	36
Tabela 3 Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de Ca, Mg e S na parte aérea de sorgo sacarino em função do número de dias após a emergência.	36
Tabela 4 Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de micronutrientes na parte aérea de sorgo sacarino em função do número de dias após a emergência.	37
Capítulo II: Marcha de absorção de macro e micronutriente na cultura do sorgo biomassa.	
Tabela 1. Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de massa seca de sorgo biomassa em função do número de dias após a emergência	53
Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de N, P e K na parte aérea de sorgo biomassa em função do número de dias após a emergência .	53

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de Ca, Mg e S na parte aérea de sorgo biomassa em função do número de dias após a emergência, e os respectivos valores.	54
Tabela 4. Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de micronutrientes na parte aérea de sorgo biomassa em função do número de dias após a emergência.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Capítulo I: Marcha de absorção de macro e micronutriente na cultura do sorgo sacarino	
Figura 1 Estádios fenológicos da cultura do sorgo sacarino em que foram realizadas as coletas para a marcha de absorção de nutrientes, e altura correspondente. Safra 2016/17. Rio Verde, GO.	38
Figura 2 Acúmulo de matéria seca na parte aérea da cultura do sorgo sacarino em função de dias após a emergência.	38
Figura 3 Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) na parte aérea da cultura do sorgo sacarino em função de dias após a emergência.	39
Figura 4 Acúmulo de cálcio (A), magnésio (B) e enxofre (C) na parte aérea da cultura do sorgo sacarino em função de dias após a emergência.	40
Capítulo II: Marcha de absorção de macro e micronutriente na cultura do sorgo biomassa.	
Figura 1. Estádios fenológicos da cultura do sorgo biomassa em que foram realizadas as coletas para a marcha de absorção de nutrientes, e altura correspondente. Safra 2016/17. Rio Verde, GO.	55
Figura 2. Acúmulo de matéria seca na parte aérea da cultura do sorgo biomassa função de dias após a emergência.	55
Figura 3. Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) na parte aérea da cultura do sorgo biomassa em função de dias após a emergência.	56
Figura 5. Acúmulo de micronutrientes na parte aérea da cultura do sorgo biomassa em função de dias após a emergência.	58

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado
ART	Açúcares totais recuperáveis
B	Boro
Ca	Cálcio
Cu	Cobre
DAE	Dias após a emergência
Fe	Ferro
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
MS	Massa seca
N	Nitrogênio
P	Fósforo
PUI	Período de utilização industrial
Zn	Zinco

RESUMO

CAVALCANTE, THOMAS JEFFERSON. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, agosto de 2017. **Marcha de absorção de macro e micronutrientes nas culturas do sorgo sacarino e sorgo biomassa.** Orientador: DSc. Gustavo Castoldi
Coorientador: DSc. Carlos Ribeiro Rodrigues.

RESUMO – O sorgo é uma cultura que se apresenta como ótima matéria-prima para produção de energia alternativa e de etanol. Para cogeração de energia, se tem o sorgo biomassa e para produção de etanol, o sorgo sacarino. O conhecimento da marcha de absorção e do acúmulo de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta é importante porque permite determinar a quantidade e em qual período de cultivo os elementos são mais exigidos, sendo de grande valia para o planejamento da adubação. Nesse contexto, objetivou-se determinar o acúmulo de massa seca e o acúmulo de macro e micronutrientes em diferentes estádios fenológicos de híbridos modernos de sorgo sacarino e sorgo biomassa. As amostragens foram realizadas em nove estádios fenológicos: V1, V3, V5, V7, V9, V11, emborrachamento, florescimento e colheita. Analisou-se a produção de matéria seca e o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B. De modo geral, os dois híbridos apresentaram altas produções de matéria seca e de acúmulo de nutrientes, particularmente K – que foi o nutriente mais absorvido.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, nutrição mineral, acúmulo de matéria seca.

ABSTRACT

CAVALCANTE, THOMAS JEFFERSON. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, August 2017. Macro and micronutrients uptake in sweet sorghum and biomass sorghum. Advisor: DSc. Gustavo Castoldi. Co-Advisor: DSc. Carlos Ribeiro Rodrigues.

ABSTRACT – Sorghum is a crop that presents itself as a good raw material for the production of alternative energy and ethanol. For the production of biomass, there is the biomass sorghum and for the production of ethanol the sweet sorghum. The knowledge of the absorption path and nutrient accumulation in the different stages of plant development is important because it allows to determine the quantity and in the period of cultivation that elements are more required, which is of great value for the fertilization planning. In this context, the objective was to determine the accumulation of dry mass and macro and micronutrients in different phenological stages of modern hybrids of sweet and biomass sorghum. Samples were collected in nine phenological stages: V1, V3, V5, V7, V9, V11, boot, flowering and harvest. The dry matter production and the accumulation of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn and B were analyzed. In general, the two hybrids presented high dry matter yield and nutrients, particularly K - which was the most absorbed nutrient.

Key words: *Sorghum bicolor*, mineral nutrition, dry matter accumulation.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) é uma planta C4, pertencente à família Poaceae e tem como principais características a rusticidade, altos rendimentos de biomassa, relativa tolerância a seca, alto teor médio de açúcar, sensibilidade ao fotoperíodo e propagação por sementes (YU et al., 2012; MEKI et al., 2017).

É uma espécie que se apresenta em várias formas e tem distintas finalidades de uso, tais como produção de grãos (sorgo granífero) e forragem (sorgo forrageiro) para alimentação animal, cogeração de energia (sorgo biomassa), produção de etanol (sorgo sacarino) e mesmo produção de vassouras (sorgo vassoura).

As variedades de sorgo voltadas à produção de bioenergia (sorgo biomassa e etanol) vêm ganhando destaque em função da crescente busca por geração de energias sustentáveis. Informações atuais sobre o manejo de tais culturas, no entanto, são escassas. Em termos de manejo da adubação e nutrição mineral do sorgo sacarino, informações utilizadas muitas vezes são da década de 1980, enquanto para sorgo biomassa as mesmas são quase inexistentes. Com o surgimento de materiais modernos e aumento no interesse em seu cultivo, tais informações são ainda mais importantes (Mauad et al., 2013).

Nesse contexto, estudos sobre a marcha de absorção de nutrientes para tais culturas são relevantes, sobretudo por permitir determinar em qual período do cultivo os nutrientes são mais exigidos, informações de grande importância para se planejar a adubação, pois podem indicar as quantidades e quais seriam as épocas em que a adição de nutrientes faz-se necessária (Vidigal et al., 2009; Zobiolo et al., 2010).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sorgo Sacarino

A utilização do sorgo sacarino para a produção de biocombustíveis não é algo novo, os primeiros estudos com tal planta focando a produção de etanol datam da década de 1970, por ocasião da primeira crise energética (Rooney et al., 2007).

Com os estudos feitos na década de 1970 já observavam características específicas para produção de etanol, que o diferenciava, por possuir porte alto e seus colmos apresentarem presença predominante de sacarose com níveis variáveis de glicose e frutose. Graças a essa característica de acúmulo de açúcar nos seus colmos vem sendo utilizado como fonte alternativa para produção de etanol em áreas onde a cana-de-açúcar não poderia ser produzida ou áreas de reformas de canaviais (Kumar et al., 2010; Teetor et al., 2011).

A implantação do sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar, que vai de dezembro a abril, com finalidade de auxiliar na produção de etanol, num período do ano que não se tem produção de etanol via cana, é uma alternativa interessante o seu uso (Ribeiro Filho et al., 2008). O sorgo sacarino expressa interessantes níveis de produtividade, além de poder integrar o sistema de produção da cana-de-açúcar, maximizando assim a utilização de equipamentos e infraestrutura (Santos, et al. 2015a).

2.2 Sorgo Biomassa

O Brasil está em busca de alternativas para a geração de energia elétrica, surgindo nesse cenário a produção de energia via usinas termoelétricas, que são usinas que geram energia a partir do calor gerado pela queima de um combustível renovável ou não, por ser renovável a produção de energia através da biomassa vegetal, vem crescendo junto com a geração de energia elétrica em termoelétricas (May et al., 2013a).

Para a produção de energia através da biomassa vegetal o sorgo biomassa vem se apresentando como fonte de matéria-prima que pode ser utilizada tanto para a produção de energia obtida por processos de cogeração quanto para a fermentação (Campi et al., 2016). Isso é pelas características de alta produção de biomassa seca, adaptabilidade a climas tropicais e temperados e baixos requerimentos de água e fertilizantes em comparação a outras espécies cultivadas (Damasceno et al., 2010).

Outras características apresentadas pelo sorgo biomassa se referem às características químicas relacionadas ao desempenho de uma matéria-prima em processos de combustão (poder calorífico, teores de carbono fixo e volátil, teor de cinzas, teor de metais alcalinos). Nesse ponto, o sorgo biomassa possui, de modo geral, resultados que se assemelham a outras gramíneas dedicadas para energia (May et al., 2013a).

O sorgo biomassa apresenta para a cogeração de energia um teor de lignina desejado na combustão (May et al., 2016). Além dos teores de lignina, o processo de conversão de energia, para a produção de biocombustíveis por lignocelulósicos envolve a despolimerização dos polissacarídeos da parede celular (celulose e hemicelulose) em açúcares simples e fermentáveis, pelos processos de pré-tratamento e sacarificação, e conversão de açúcares simples em biocombustíveis pela fermentação (Damasceno et al., 2010; Carlin & Rossetto, 2014).

2.3 Fenologia da cultura do sorgo

O sorgo pertence à família das gramíneas do tipo C4, tem como características o ciclo curto de produção (por volta de quatro meses) e possui boa eficiência energética, de menor exigência em água, ao se levar em conta culturas como a cana-de-açúcar e o milho (Santos et al., 2014). Essa menor exigência do sorgo é por ser considerada uma cultura rústica, que apresenta características de resistir bem ao estresse.

Além dessas características de rusticidades o sorgo se destaca também como uma das matérias-primas mais promissoras para a geração de bioenergia, uma vez que apresenta elevado teor de fibras e açúcares fermentáveis, podendo ser explorada em larga escala e com grande adaptabilidade a diversas condições de clima e solo (Scully et al., 2016).

Para que o sorgo possa ter alta produção de biomassa e conseguir produzir energia, é importante obter conhecimentos sobre os estádios fenológicos, com essas informações é possível realizar recomendações de adubação de cobertura. Na (Tabela 1) verificar as diferenças dos estádios fisiológicos através das suas características em cada estádios.

Através dos estádios é possível observar até características como estresse na cultura, pois de acordo com Kochenower et al, 2016, o sorgo quando possui até seis

folhas, pode tolerar estresses significativos como seca, granizo e até temperaturas de congelamento sem que afete significadamente os seus rendimentos

Tabela 1 Estádios fenológicos de uma planta de sorgo, segundo Kochenower et al.,2016.

Estádios	Descrição dos estádios fenológicos
V1	Da sementeira à emergência da primeira folha verdadeira
V3	Terceira folha totalmente expandida
V5	Quinta folha totalmente expandida
V7	Sétima folha totalmente expandida
V9	Nona folha totalmente expandida
V11	Décima primeira folha totalmente expandida
Emborrachamento	Surgimento da folha bandeira
Florescimento	Surgimento da Panícula
Colheita	Maturação fisiológica

2.4 Potencial de produção do sorgo etanol e sorgo biomassa

O sorgo sacarino apresenta, dentre outros aspectos, características interessantes para utilização no setor sucroalcooleiro, tais como ciclo curto de desenvolvimento (até quatro meses) e total mecanização de seu cultivo, utilizando inclusive o mesmo maquinário de colheita e processamento que as agroindústrias sucroalcooleiras possuem para a colheita da cana-de-açúcar (May et al., 2011).

A única parte do processo que muda em relação ao cultivo da cana-de-açúcar é o plantio, que no caso do sorgo é feito via sementes. A sementeira do sorgo pode ser realizada no início do período chuvoso (outubro/novembro) a fim de tornar possível a antecipação de 2 a 3 meses no período de moagem das usinas. Nessa condição, as colheitas começariam a partir de fevereiro e março, reduzindo o período de ociosidade da usina, que varia de 3 a 5 meses, e trazendo impactos positivos na geração de receitas (Durães, 2011).

Para que o cultivo de sorgo sacarino seja rentável para as usinas, estabeleceu-se um “conceito mínimo”, que representa as características mínimas desejáveis: um

período de utilização industrial (PUI) mínimo de 30 dias, produtividade de colmos acima de 50 t ha⁻¹, associado a 12,5% teor de açúcar total (ART), e com geração de 60 litros de etanol por tonelada de colmos, resultando em 3.000 litros de etanol por hectare (May et al., 2013b).

O sorgo biomassa por sua vez apresenta um mercado muito promissor para expansão de sua produção, parte pelo governo brasileiro ter criado o programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (Proinfa), com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (Dutra & Szklo, 2006).

A biomassa sendo uma dessas fontes, o sorgo biomassa apresenta características interessantes para que seja utilizado no setor de cogeração de energia, tais como alta produtividade de biomassa e baixo custo de produção, além de valores interessantes de poder calorífico (May et al., 2013a). Castro et al. (2015), trabalharam com 16 híbridos e obtiveram médias de massa seca de 34 t ha⁻¹, com 62% de umidade e poder calorífico de 4.400 Kcal kg⁻¹.

Tanto o sorgo sacarino, quanto o sorgo biomassa também podem ser utilizados para produção de etanol de 2ª geração, grande porcentagem da biomassa vegetal é constituída de celulose – um componente estrutural da parede celular produzido a partir de cadeias de glicose –, que por meio de um processo específico pode ser processada a fim de que esses açúcares possam ser fermentados e assim produzir o etanol (Filho Pereira & Rodrigues, 2015).

Tabela 2 Exemplo de algumas características de híbridos modernos de sorgo sacarino (Malibu 5010) e sorgo biomassa (Palo Alto 2562).

Características	Sorgo Sacarino (Malibu 5010)	Sorgo Biomassa (Palo Alto 2562)
Ciclo	Médio-Tardio	Tardio
Altura média (m)	3,75	4,8
Suculência do colmo	Suculento	Seco
Produtividade de Massa verde	60-80 t ha ⁻¹	40-50 t ha ⁻¹
Produtividade- Etanol	+ 3000 L ha ⁻¹	-

Produtividade de Massa seca	-	20-25t ha ⁻¹
°Brix	+ 15	-
Poder Calorífico a 50% umidade	-	1800 Kcal Kg ⁻¹
Ponto para colheita	Brix >12	Umidade 50 a 60 %

Fonte: Nexsteppe Sementes do Brasil, adaptada por Cavalcante (2017).

2.5 Nutrição mineral para o sorgo sacarino e sorgo biomassa

A escassez de informações sobre as culturas do sorgo sacarino e sorgo biomassa quanto à exigência nutricional de materiais modernos e de alto potencial produtivo justifica a realização de estudos sobre marcha de absorção de nutrientes e de acúmulo de massa seca. O uso de fertilizantes sintéticos é um custo crescente para os produtores e muitas vezes uma fonte de poluição ambiental (Adams et al., 2015). Informações sobre extração de nutrientes pelo sorgo em diferentes estádios são importantes para melhor entender como a cultura se comporta, podendo assim auxiliar a adubação de base e de cobertura para que se explore ao máximo potencial produtivo.

Por possuir características de rusticidade, alguns entendem o sorgo como uma planta que não responde à adubação, quando na verdade o sorgo pode apresentar elevada exigência nutricional, sobretudo quando se buscam altos índices de produtividade (Borges et al., 2016). Podem ocorrer também diferenças entre as cultivares quanto ao acúmulo e exportação de macronutrientes (Soares et al., 2014).

A eficiência no manejo da cultura está ligada ao estudo do acúmulo de nutrientes em função da idade das plantas em razão da importância para auxiliar na definição das quantidades e épocas de aplicações de fertilizantes, proporcionando ganhos em produtividade e na redução dos custos de produção, através da utilização racional e eficiente dos insumos (Soares et al., 2014).

Santos et al. (2015b), estudando a extração de macronutrientes pela cultura do sorgo sacarino variedade BRS 506, observaram extrações de nutrientes primários NPK da ordem de 11,1; 1,36 e 14,3 kg ton⁻¹ produzida. Já para o sorgo biomassa, Santos et al. (2015c), encontraram para a variedade CMSXS 652, valores de extração 7,07; 0,53; 11,6; 3,79; 2,62 e 0,60 Kg ton⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente..

Estudos a respeito de marcha de absorção de nutrientes e do acúmulo de matéria seca para híbridos modernos podem expressar valores diferentes dos obtidos

para cultivares mais antigas. É importante salientar que condições ótimas de produção são também dependentes de diversos outros fatores além da adubação, tais como características de solo, clima, sistema de rotação/sucessão de culturas, época de plantio, cultivar e tratos fitossanitários (Resende et al., 2009).

OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Determinar a marcha de absorção de nutrientes e de acúmulo de matéria seca de híbridos modernos de sorgo sacarino e de sorgo biomassa.

3.2 Objetivos Específicos

- Quantificar a produção de matéria seca (particionada e total) em plantas de sorgo sacarino e sorgo biomassa em distintos estádios de desenvolvimento: V1, V3, V5, V7, V9, V11, emborrachamento, florescimento e colheita.
- Analisar os teores e quantificar o acúmulo de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) em plantas em plantas de sorgo sacarino e sorgo biomassa em distintos estádios de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, C. B., ERICKSON, J. E., & SINGH, M. P. Investigation and synthesis of sweet sorghum crop responses to nitrogen and potassium fertilization. **Field Crops Research**, v. 178, p. 1-7, 2015.

BORGES, I. D., FRANCO, A. A. N., KONDO, M. K., MARTINS, D. C., TEIXEIRA, E. C., & MOREIRA, S. G. Acúmulo de macronutrientes na cultura do sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 294-304, 2016.

CAMPI, P., NAVARRO, A., PALUMBO, A. D., MODUGNO, F., VITTI, C., & MASTRORILLI, M. Energy of biomass sorghum irrigated with reclaimed wastewaters. **European Journal of Agronomy**, v. 76, p. 176-185, 2016.

CARLIN, S. D & ROSSETTO, R. Biomassa para produção de energia **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 11, n. 2, 2014.

CASTRO, F. M. R., BRUZI, A. T., NUNES, J. A. R., PARRELLA, R. A. C., LOMBARDI, G. M. R., ALBUQUERQUE, C. J. B., & LOPES, M. Agronomic and energetic potential of biomass sorghum genotypes. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 1862-1873, 2015.

DAMASCENO, C., de SOUSA, S. M., NODA, R., PARRELLA, R. D. C., SCHAFFERT, R., & de MAGALHAES, J. V. A importância da lignina para a produção de etanol de Segunda geração. **Embrapa Milho e Sorgo-Documentos**, 2010.

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica. **Embrapa Agroenergia em Revista**, Brasília v. 2, 3 ed, p 25, agosto de 2011.

DUTRA, R. M., & SZKLO, A. S. ALEXANDRE SALEM. A energia eólica no Brasil: Proinfa e o novo modelo do Setor Elétrico. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Energia-CBE**. p. 842-868, 2006.

FAO, FOOD. Agriculture Organization The state of food and agriculture, 2008.
FILHO PEREIRA, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde, **Embrapa**, 327 p,2015.

KOCHENOWER, R., LARSON, K., BEAN, B., KENNY, N., MARTIN, K. Program High plains Production handbook, **United Sorghum Checkoff Program**, 113 p, 2016.

KUMAR, C. G., FATIMA, A., RAO, P. S., REDDY, B. V., RATHORE, A., RAO, R. N., & KAMAL, A. GANESH ET AL. Characterization of improved sweet sorghum genotypes for biochemical parameters, sugar yield and its attributes at different phenological stages. **Sugar Tech**, v. 12, n. 3-4, p. 322-328, 2010.

MAUAD, M., GARCIA, R. A., VITORINO, A. C. T., SILVA, R. M. M. F., GARBIATE, M. V., COELHO, L. C. F. Matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de Crambe. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 771-778, 2013.

MAY, A. Boas práticas agrícolas para o cultivo de sorgo sacarino. **Embrapa Agroenergia em Revista**, Brasília v.2, ed 3, p 16, agosto de 2011.

MAY, A., DA SILVA, D. D., DOS SANTOS, F. C. Cultivo do sorgo biomassa para a cogeração de energia elétrica. **Embrapa Milho e Sorgo-Documentos (INFOTECA-E)**, 2013a.

MAY, A., MENDES, S., DA SILVA, D. D., PARRELLA, R. D. C., DE MIRANDA, R. A., DA SILVA, A. F., KARAM, D., PARRELLA, N. N. L. D., & SCHAFFERT, R. E. Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica Embrapa Milho e Sorgo**, 36 p (Circular Técnica, 186), 2013b.

MAY, A., SOUZA, V. F. D., GRAVINA, G. D. A., & FERNANDES, P. G. Plant population and row spacing on biomass sorghum yield performance. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 434-439, 2016.

MEKI, M. N., OGOSHI, R. M., KINIRY, J. R., CROW, S. E., YOUKHANA, A. H., NAKAHATA, M. H., & LITTLEJOHN, K. Performance evaluation of biomass sorghum in Hawaii and Texas. **Industrial Crops and Products**, v. 103, p. 257-266, 2017.

NEXSTEPPE. Departamento Assistência técnica NexSteppe, 2015.

RESENDE, A. V., COELHO, A., RODRIGUES, J., & dos SANTOS, F. C. Adubação maximiza o potencial produtivo do sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2009.

RIBEIRO FILHO, N. M., FLORÊNCIO, I. M., ROCHA, A. S., DANTAS, J. P., FLORENTINO, E. R., & SILVA, F. L. H. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, v. 10, n. 1, p. 9-16, 2008.

ROONEY, W. L., BLUMENTHAL, J., BEAN, B., & MULLET, J. E. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 1, n. 2, p. 147-157, 2007.

SANTOS, F. C., ALBUQUERQUE FILHO, M. R., RESENDE, Á. V., OLIVEIRA, A. C., OLIVEIRA, M. S., GOMES, T. C. Adubação nitrogenada e potássica na nutrição e na extração de macronutrientes pelo sorgo biomassa. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 10-22, 2015c.

SANTOS, F. C., ALBUQUERQUE FILHO, M. R., RESENDE, Á. V., OLIVEIRA, A. C., GOMES, T. C., & OLIVEIRA, M. S. Adubações nitrogenada e potássica no sorgo

biomassa-produtividade e qualidade de fibra. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2014.

SANTOS, F. C., RESENDE, A. V.; FILHO ALBUQUERQUE, M. R.; MAY, A.; CRUZ, S. C. B.; GRAVINA, G. A.; PARRELLA, R. A. C. Resposta do sorgo sacarino à adubação NPK em Latossolo de Cerrado da Região Central de Minas Gerais. Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 35 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 130), 2015b.

SANTOS, R. F., PLACIDO, H. F., GARCIA, E. B., CANTU, C., ALBRECHT, A. J. P., ALBRECHT, L. P., & DE AZEVEDO FRIGO, K. D. Sorgo sacarino na produção de agroenergia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 1, 2015a.

SCULLY, E. D., GRIES, T., SARATH, G., PALMER, N. A., BAIRD, L., SERAPIGLIA, M. J., TWIGG, P. Overexpression of SbMyb60 impacts phenylpropanoid biosynthesis and alters secondary cell wall composition in *Sorghum bicolor*. **The Plant Journal**, v. 85, n. 3, p. 378-395, 2016.

SOARES, E. R.; COUTINHO, E. L. M.; RAMOS, S. B.; SILVA, M. S.; BARBOSA, J. C. Acúmulo de matéria seca e macronutrientes por cultivares de sorgo sacarino. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, 2014.

TEETOR, V. H., DUCLOS, D. V., WITTENBERG, E. T., YOUNG, K. M., CHAWHUAYMAK, J., RILEY, M. R., & RAY, D. T. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 2, p. 1293-1300, 2011.

VIDIGAL, S. M., PACHECO, D. D., COSTA, É. L., FACION, C. E., Crescimento e acúmulo de macro e micronutrientes pela melancia em solo arenoso. **Revista Ceres**, v. 56, n. 1, 2009.

YU J, ZHANG T, ZHONG J, ZHANG X, TAN T (2012) Biorefinery of sweet sorghum stem. **Biotechnol Adv** 20:811–816v. 30, n. 4, p. 811-816, 2012.

ZOBIOLE, L.H.S., CASTRO, C., OLIVEIRA, F. A., JUNIOR OLIVEIRA, A., Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.425-433, 2010.

CAPÍTULO I

(Normas de acordo com a revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB)).

Marcha de absorção de macro e micronutriente na cultura do sorgo sacarino

Resumo – O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) é uma fonte de energia renovável promissora para geração de etanol na entressafra da cana-de-açúcar. Nesse trabalho objetivou-se determinar o acúmulo de massa seca e o acúmulo de macro e micronutrientes em diferentes estádios fenológicos da cultura do sorgo sacarino. O experimento foi conduzido no município de Rio Verde, GO, em um Latossolo Vermelho, de textura média. O delineamento experimental utilizado foi o bloco ao acaso, com quatro repetições, sendo as coletas realizadas em nove estádios fenológicos: V1, V3, V5, V7, V9, V11, emborrachamento, florescimento e colheita. Analisou-se a produção de matéria seca e o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B. O acúmulo de matéria seca por ocasião da colheita foi de 41.828 kg ha⁻¹, e o K foi o nutriente mais absorvido pela cultura, apresentando uma absorção de 535,1 kg ha⁻¹. Essa alta quantidade de K absorvida sugere que a cultura do sorgo sacarino poderia ser indicada para áreas que contêm altas quantidades de K, como aquelas com histórico de uso de vinhaça. A ordem de nutrientes absorvidos pelo sorgo sacarino foi a seguinte: K>N>S>Mg>Ca>P>Fe>Zn>Mn>B>Cu.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, nutrição mineral, acúmulo de matéria seca.

Macro and micronutrient uptake in sweet sorghum

Abstract – Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor*) is a promising source of renewable energy for the generation of ethanol in the sugar cane area. The objective of this work was to determine the accumulation of dry mass and macro and micronutrients in different phenological stages of the sorghum crop. The experiment was conducted in the municipality of Rio Verde, GO, in a Red Latosol, of medium texture. The experimental design was the randomized block, with four replications, and the collections were carried out in nine phenological stages: V1, V3, V5, V7, V9, V11, boot, flowering and harvest. Dry matter production and accumulation of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn and B were analyzed. The dry matter accumulation at harvest was 41,828 kg ha⁻¹. and K was the nutrient most absorbed by the crop, presenting an absorption of 535.1 kg ha⁻¹. .

This high amount of absorbed K suggests that sorghum cultivation could be indicated for areas containing high amounts of K, such as those with a history of vinasse use. The order of nutrients absorbed by sweet sorghum was as follows: K> N> S> Mg> Ca> P> Fe> Zn> Mn> B> Cu.

Index terms: *Sorghum bicolor*, mineral nutrition, dry matter accumulation.

Introdução

No Brasil, o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro fundamenta-se basicamente na cultura da cana-de-açúcar, que representa aproximadamente 3% de toda área cultivada do país (Fernandes et al., 2013). A importância de trabalhar múltiplas alternativas para a produção de energia e que essas múltiplas alternativas permite que o país não fique dependente apenas de uma, e, é nesse cenário que o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) apresenta-se como alternativa, com grande potencial para a produção de biocombustível. (Maw et al., 2016).

Uma vez que apresenta em seus colmos caldo com níveis elevados de açúcares fermentáveis, principalmente sacarose, frutose e glucose, com °Brix variando normalmente de 13,1 a 17,2 (Laopaiboon et al., 2009; Phukoetphim et al., 2017). Outras vantagens competitivas do sorgo sacarino é o fato de ser multiplicado via sementes o que facilita a logística de plantio tem o sistema fotossintético C4, um ciclo de vida entre 100 a 120 dias e poder ser cultivado na entressafra cana-de-açúcar (Durães, 2011; Calviño & Messing 2012).

A entressafra da cana-de-açúcar vai de dezembro a março, deste modo pode-se utilizar a mesma estrutura da cana-de-açúcar, esta estará parada por causa do termino da manutenção. Dessa forma, o cultivo do sorgo sacarino pode otimizar o uso de recursos da usina, tais como maquinários e mão de obra, aumentar do fornecimento de etanol na entressafra e, sobretudo, contribuir para o acerto da indústria para o início da colheita da cana-de-açúcar.

A produção de sorgo sacarino para ser rentável foi estipulado um “conceito mínimo”. Com base nesse conceito foi estipulado o período de utilização industrial (PUI) de 30 dias, produtividade de colmos de 50 t ha⁻¹, associado a 12,5% de teor de açúcar total (ART) e com geração de 60 L etanol ton⁻¹ de colmos, resultando em 3.000 L etanol ha⁻¹ (May et al., 2013). Para que seu cultivo seja aumentado é importante ainda que lacunas de seu manejo sejam preenchidas, tais como o manejo da adubação, que muitas vezes é embasado no que se faz para a cultura do milho (Santos et al., 2015).

Com relação ao manejo da adubação do sorgo sacarino não se tem muitos conhecimentos e nem da sua fenologia, por causa do surgimento de novos híbridos que apresentam altas produtividades. Mesmo com essas altas produção, o sorgo possui características de rusticidade, isso não significa que a planta não responda à adubação, uma vez que pode apresentar elevada exigência nutricional, sobretudo quando se buscam altos índices de produtividade (Borges et al., 2016).

A importância do conhecimento das necessidades nutricionais das plantas em função dos estádios fisiológicos é de grande importância, para construir um plano de manejo e condução da cultura, desta forma, construindo curvas que podem ser observadas em qual estádios absorve mais nutrientes, dando informações em que época é recomendado a adubação para o sorgo sacarino.

O sorgo sacarino BRS 506 apresenta exportação em que obteve produtividade média de matéria seca da parte aérea de 15,56 t ha⁻¹ encontra a seguinte ordem de N, P e K é 11,06; 1,36 e 14,27 kg t⁻¹ respectivamente (Santos et al., 2015). Já Ameen et al. (2017) observou para o sorgo sacarino Guotian-8, com produção de 12.6 t ha⁻¹ de biomassa seca, com acumulações médias de N, P e K sendo 80,3; 15,5 e 56,4 kg ha⁻¹ respectivamente.

A fim de aumentar a eficiência da adubação da cultura, estudos com marcha de absorção são importantes, uma vez que se pode entender a real demanda de nutrientes pela cultura, fornecendo-os quando a planta mais necessita. Nesse contexto, objetivou-se determinar o acúmulo de massa seca e o acúmulo de macro e micronutrientes em diferentes estádios fenológicos da cultura do sorgo sacarino.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental da Empresa Nexsteppe Sementes do Brasil, localizada no município de Rio Verde, GO. De acordo Köppen-Geiger o clima da região é tropical, com estação seca no inverno (Aw), pluviometria anual média de 1400-1600 mm e temperatura média de 23-24°C (Cardoso et al., 2015). O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho, de textura média. Anterior a implantação do ensaio, o solo da área experimental foi amostrado (0,0-0,2 m) e analisado quanto às suas principais características químicas e texturais, obtendo-se os seguintes resultados: pH (CaCl₂) de 5,6; 40,6 e 8,6 mg dm⁻³ de M.O. e P, respectivamente; 0,13, 2,64 e 1,16 (cmol_c dm⁻³) respectivamente de K, Ca e Mg para

H+Al 3,08 dag kg⁻¹, respectivamente; saturação por bases de 56% e 45, 34 e 21% de argila, areia e silte, respectivamente.

Utilizou-se como material o híbrido Malibu 5010, da Nexsteppe Sementes do Brasil, que apresenta ciclo médio-tardio com florescimento entre 80 e 90 dias e uma produtividade de matéria fresca de 60 – 80 t ha⁻¹, com plantio recomendado entre novembro e dezembro, para a produção de etanol superior a 3000 l ha⁻¹. Deve-se utilizar espaçamento entrelinhas de 45 a 50 cm, apresenta baixa emissão de perfilhos e altura média de 3,75 m, boa fitossanidade e tem fotossensibilidade.

A semeadura foi realizada em 16/12/2016, com semeadora-adubadora dotada de sistema a vácuo e com seis linhas espaçadas 0,50 m entre si, e buscando uma população de 240 mil plantas ha⁻¹, que por ocasião do raleio manual (realizado em V1) foi precisamente ajustada para 120 mil plantas ha⁻¹. Foram semeadas quatro parcelas constituídas por seis linhas de plantas de 30 m de comprimento cada, sendo as coletas realizadas no tempo, caracterizando as subparcelas.

A adubação foi realizada a fim de que não ocorressem quaisquer deficiências nutricionais, e se baseou em resultados prévios. No sulco de semeadura, foram adicionados 480 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16. Em cobertura foram realizadas outras duas aplicações, nos estádios V5 e V9, de 400 kg ha⁻¹ do formulado 20-00-20. Por ocasião do estádio V9 ainda foi feita uma adubação foliar em que se aplicou sulfato de magnésio (1 kg ha⁻¹), e 1 L ha⁻¹ de um produto à base de nutrientes (S 6,90%, B 0,20%, Cu 0,50%, Mn 8%, Mo 0,05%, Zn 3%). Para o controle da Lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foram realizadas aplicações com o Tiametoxam e o Alfa-Cipermetrina sendo aos 11 e 23 e DAE e o Etefom aplicado antes do surgimento da folha bandeira na dosagens de 660ml ha⁻¹, a fim de retardar o surgimento das panículas, já para o controle de plantas daninhas ou mesmo doenças não foi aplicado, não por não ter tido problemas.

Não existe uma escala fenológica específica para a cultura do sorgo sacarino, e embora alguns conceitos como dos estágios de V1 ao emborrachamento foram seguidos de acordo com Kochenower et al. (2016), a definição dos estádios fenológicos ocorreu de acordo com o que convencionalmente se utiliza para fins de manejo no campo.

Para determinação da curva de crescimento e de acúmulo de nutrientes, as plantas foram amostradas em nove estádios fenológicos: V1, V3, V5, V7, V9, V11, emborrachamento, florescimento e colheita (Figura 1), que ocorreram, respectivamente, aos 3, 10, 25, 35, 43, 49, 57, 80 e 93 (DAE). Ressalta-se que as coletas foram realizadas quando mais de 50% das plantas se encontravam no estádio em questão e para os casos

de V5 e V9 em que ocorreu adubações nesse estádios, as colheitas foram feitas antes da adubação.

As plantas coletadas foram em todos os estádios lavadas em água destilada e separadas – à exceção da amostragem realizada em V1 e V3 (quando não se separou a planta em partes) – em colmo, folhas e panícula (nos estádios de florescimento e colheita). O material amostrado foi colocado em sacos de papel e acondicionado em estufa de secagem com circulação forçada de ar a 65°C até massa constante. Posteriormente, todas as amostras foram pesadas (para determinação do acúmulo de matéria seca), moídas em moinho de facas tipo Willey, e analisadas quanto aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B, conforme metodologias descritas em Embrapa (2009). As análises foram realizadas no laboratório de Química Agrícola do IF Goiano – Campus Rio Verde.

Por ocasião da colheita também se mensurou a altura de plantas (medida da superfície do solo até a panícula), o diâmetro de colmo (medido no 3º nó contado de baixo para cima), o °Brix do caldo e a produção de massa fresca. A matéria seca total da parte aérea das plantas foi obtida pelo somatório dos valores de massa seca do caule, folhas e panículas. O acúmulo de cada nutriente em cada parte da planta foi calculado por meio da relação do teor do nutriente nas mesmas pela matéria seca de cada parte, sendo os valores obtidos em kg ha⁻¹.

Por se tratar de dados quantitativos e haver correlação entre DAE (x) e a produção de massa seca ou acúmulo de nutrientes (y), os dados foram analisados por modelo de regressão não linear, função Gaussian com três parâmetros, seguindo o procedimento descrito por Borges et al. (2016), descrito a partir da seguinte equação:

$$Y = \frac{a}{1 + \exp - \left(\frac{X - X_0}{b} \right)}$$

Em que:

a = Ponto máximo da curva;

b = Parâmetro de ajuste;

X₀ = Ponto de inflexão.

O ponto de inflexão corresponde ao momento em que ocorreram as taxas máximas de acúmulo diário (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:

$$PC_{\min} = X_0 - 2b$$

$$PC_{\max} = X_0 + 2b$$

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

Resultado e Discussão

Por ocasião da colheita, o sorgo sacarino apresentou altura de 2,71 m, diâmetro de colmo de 2,1 cm e °Brix de 16,07 com produção de massa fresca de 93.088 kg ha⁻¹. Valores similares foram encontrados por Pereira Filho et al. (2013), que avaliou quatro cultivares de sorgo sacarino (BRS 501, 505, 506 e 507) e um híbrido simples forrageiro (BR S 60), semeados nas densidades de 75, 100, 125, 150 e 175 (x1.000) plantas ha⁻¹, e encontrou valores de altura de 2,51 a 2,92 m, °Brix de 14,88 a 16,04 e massa fresca variando de 59.050 a 85.990 kg ha⁻¹

Já o acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea do sorgo sacarino foi lento até o estágio de desenvolvimento V5, que ocorreu aos 25 DAE (Figura 2). O baixo acúmulo nos estádios iniciais também foi encontrado por Magalhaes et al. (2000) que destaca que até o estágio V3, que ocorre por volta de 10 DAE, o ponto de crescimento da planta ainda está abaixo da superfície do solo, de forma que a taxa de crescimento da planta é mais lenta e depende grandemente da temperatura. Também pode ser constatando pelo PC_{\min} e demonstra que os ganhos expressivos de MS total da parte aérea foi aos 32 DAE e PC_{\max} constata estabilidade no acúmulo aos 80 DAE e atingindo valores máximos de acúmulo de MS 43.765 kg ha⁻¹ (Tabela 1).

O baixo acúmulo de matéria seca nas panículas (Figura 2) é por causa da utilização de maturador no sorgo sacarino, que visa à inibição ou retardamento do florescimento da panícula, podendo afetar positivamente o rendimento de açúcar nos colmos, pois evitaria a redistribuição de açúcares e nutrientes para as panículas. Viana et al. (2017) encontraram esse favorecimento para incremento de sacarose e aumento do brix com a utilização de maturadores para a cultivar BRS 508.

É importante destacar que o híbrido Malibu 5010 utilizado apresentou desenvolvimento de 93 dias até a sua colheita, quando se encontrou com brix <12, considerado como ciclo médio-tardio (NexSteppe, 2015), e mais de 1/3 do seu acúmulo total de MS (15.586 kg ha⁻¹ – 37,3%) ocorreu do emborrachamento ao florescimento, num período total de 23 dias (Figura 2).

O acúmulo de N pela cultura do sorgo sacarino foi muito lento até o estágio de desenvolvimento V5 (Figura 3A), apresentou ganhos relevantes de MS aos 30 DAE conforme PC_{\min} (Tabela 2). Entre os estádios V5 e V9, o acúmulo de N aumentou de forma acentuada, saindo de 12,5 para 347,2 kg ha⁻¹, tendo acréscimo de 334,7 kg ha⁻¹ (Tabela 2), e representa 84,5% de todo N acumulado pela cultura (Figura 3), após o estágio V9 o acúmulo de N começa a se estabilizar PC_{\max} aos 43 DAE (Tabela 2).

Os valores absorvidos e acumulados na parte aérea da cultura são maiores que os 198 kg ha⁻¹ de N fornecidos via adubações de plantio e de cobertura, e sugere que a diferença foi suprida pelo solo ou que a planta de sorgo é capaz de promover associações simbióticas com microrganismos fixadores de N (Bergamaschi et al., 2007).

Han et al. (2011), trabalhando com cinco cultivares de sorgo sacarino em dois anos de cultivo, encontraram valores de absorção de N variando entre 105 e 339 kg ha⁻¹. Já Propheter & Staggenbor, (2010), encontrou uma faixa de valores para N um pouco inferior, na faixa 194 a 202 kg N ha⁻¹. É importante salientar que dentre os macronutrientes, o N foi o que apresentou a relação mais estreita entre sua quantidade acumulada nos colmos e nas folhas, já que a diferença entre o colmo e a folha representou apenas 14% do acúmulo total de N (Tabela 2), e provavelmente está relacionado ao importante papel do N na constituição das moléculas de clorofila e consequente processo de fotossíntese e crescimento da planta (Zhao et al., 2005).

Assim como o N o acúmulo de P foi lento nos estádios iniciais tendo acúmulo expressivo de P a partir dos 29 DAE, PC_{\min} (Tabela 2) e corresponde estar entre os estádios V5 e V7. E o acúmulo de P só começou a estabilizar aos 65 DAE estando entre os estádios emborrachamento e florescimento e atingindo valores de máximo acúmulo de 73,2 kg ha⁻¹ (Tabela 2), valor superior aos 58,7 kg P ha⁻¹ fornecidos via adubação.

O acúmulo máximo de P foi de 73,2 kg ha⁻¹ ficando dentro da faixa encontrada por Han et al. (2011) e um pouco acima da faixa encontrada por Propheter & Staggenborg (2010), que encontraram, respectivamente, valores de acúmulo de P variando entre 15 e 75 kg ha⁻¹ e 39 a 49 kg ha⁻¹. A partir do estágio de emborrachamento (57 DAE), parte do P absorvido parece ser direcionada ou redistribuída para as panículas, haja vista, que o acúmulo de P (Figura 3B). Esse P foi redistribuído principalmente pelas folhas do sorgo sacarino, visto que as folhas representavam 35,1% do P acumulado no estágio emborrachamento e quando a cultura atinge o estágio colheita passou as folhas a representar apenas 24,5% do acúmulo de total de P na cultura.

O acúmulo de K na planta de sorgo foi reduzido até o estágio de desenvolvimento V9 (Figura 3C) e apresentou ganhos acentuados no acúmulo de K só a partir dos 34 DAE, PC_{\min} (Tabela 2). Esse ganho acentuado pode ser observado entre os estádios V5 e V9 e saiu de 3,14 para 535 kg ha⁻¹ respectivamente o acréscimo ocorrido foi de 531,9 kg ha⁻¹ em 18 dias e seu acúmulo máximo de K foi de 535 kg ha⁻¹.

O acúmulo total de K foi muito superior aos 196,5 kg K ha⁻¹ fornecidos via adubações de plantio e de cobertura. Não se tem conhecimento de toxidez causada pelo K em plantas, de modo que uma absorção superior às necessárias da cultura usualmente é chamada de “consumo de luxo” (Epstein & Bloom, 2006). Para a cultura do sorgo granífero, o K também foi o nutriente com maiores acúmulos (Borges et al., 2016).

O sorgo sacarino por causa da grande quantidade de K acumulada, demonstra um potencial para ser utilizadas em áreas com excesso de potássio, como áreas que são aplicadas altas dosagens de vinhaça ou perto dos canais de vinhaça. Pois são áreas que quando não são devidamente mensuradas para receber a vinhaça pode ocorrer a lixiviação de vários íons como nitrato e potássio levando para a contaminação de águas subterrâneas ou quando não lixiviadas atingem condições insatisfatórias como enriquecimento em sais do solo (Silva et al., 2007; Baffa et al., 2009).

Do mesmo modo como K o acúmulo de Ca na planta de sorgo foi mínimo até o estágio de desenvolvimento V5, que ocorreu aos 25 DAE (Figura 4A) sendo que só começou a ter ganhos consideráveis de Ca aos 32 DAE, PC_{\min} (Tabela 3). Entre os estádios V5 e V11, visto que a o acúmulo de Ca passou de 1,2 para 104,5 kg ha⁻¹ (Tabela 3), o que representa aproximadamente 97,6% de todo acúmulo de Ca na cultura, e no estágio V9 aos 43 DAE, PC_{\max} (Tabela 3) começou a se estabilizar a quantidade acumulada de Ca na parte aérea do sorgo sacarino.

Quando se observa trabalhos de marcha de absorção, o Ca é normalmente o terceiro macronutriente mais absorvido pelas culturas, como fora constatado para girassol (Saes Zobiolo et al., 2010) e sorgo granífero (Borges et al., 2016). Visto que o acúmulo de Ca (Figura 4A) foi somente maior que o de P, e provavelmente pode ter relação com a alta absorção de K (Figura 3C), haja vista que o Ca pode ter sua absorção diminuída pela planta por altas concentrações de K⁺, Mg²⁺ e NH₄⁺ (Epstein & Bloom, 2006).

Diferentemente do Ca o Mg teve um ganho expressivo na acumulação de Mg antes dos 30 DAE, pois no estágio V5 aos 25 DAE, PC_{\min} a cultura já expressava ganhos expressivos que só foram começar a se estabilizar perto do florescimento sendo aos 84 DAE, PC_{\max} (Tabela 3). O acúmulo de Mg na parte aérea do sorgo sacarino

apresentou estruturação uniforme ao longo de todo ciclo (Figura 4B), atingindo na colheita 114,4 kg ha⁻¹ (Tabela 3). Essa quantidade de Mg acumulada foi composta por folha, colmo e panícula assim como para todos os outros nutrientes, sendo que para o Mg a folha, colmo e panícula foi responsável respectivamente por 12,87; 80,31 e 4,9% assim compondo a acumulação total de Mg pelo sorgo sacarino na sua colheita.

Assim como a MS o acúmulo de S foi lento até os 33 DAE, PC_{min}, que fica entre os estádios V5 e V7 e começou a estabilizar o acúmulo de S perto do florescimento aos 84 DAE, PC_{max} (Tabela 3). Deste modo o acúmulo de S saiu de 10 kg ha⁻¹ no estágio V5 para 121,8 kg ha⁻¹ no florescimento, correspondendo ao acúmulo de 111,8 kg ha⁻¹ em 55 dias.

Esse enxofre é importante para a planta em todas as proteínas, pois sua principal função é a formação de dissulfeto (S-S), e a sua carência provoca distúrbios metabólicos que pode ocasionar a diminuição na síntese de proteínas e açúcares (Faquin, 2005). Sendo importante seu estudo para a cultura do sorgo sacarino visto a produção de etanol é proveniente do acúmulo de açúcares em seus colmos. Dentre os micronutrientes, o Cu, Zn e o Mn apresentam ganhos expressivos na sua acumulação próximos aos 30 DAE, PC_{min}, já o Fe e B apresentaram próximos de 40 DAE, PC_{min} (Tabela 4). O Fe foi o micronutriente mais absorvido pela cultura do sorgo sacarino, chegando a 2599,2 g ha⁻¹, seguido pelo Zn e Mn que apresentaram comportamentos parecidos e atingindo valores próximos de acúmulo total sendo respectivamente 817 e 777,1 g ha⁻¹ (Tabela 4), já Cu e B apresentaram momento de estabilização no seu acúmulo aos 43 DAE, PC_{max} e acúmulo máximo de 201,1 e 291 g ha⁻¹ respectivamente (Tabela 4).

Conclusões

A quantidade de macronutrientes extraídas pela cultura do sorgo sacarino obedece à seguinte ordem: K > N > S > Mg > Ca > P.

Para micronutrientes, a ordem de extração pela cultura do sorgo sacarino é a seguinte: Fe > Zn > Mn > B > Cu.

A absorção de N pelo sorgo sacarino é pequena nos estádios iniciais e aumenta gradativamente a partir de V5, de modo que se recomenda que a adubação nitrogenada de cobertura seja feita até esse estágio.

Quase a totalidade dos mais de 500 kg ha⁻¹ de K são absorvidos entre V5 e V9, recomendando-se então que o fornecimento de K quando for dividir a adubação, fazendo uma parte antes de V5 e outra depois de V5.

A absorção de micronutrientes pela cultura do sorgo sacarino é somente significativa a partir de V5, de modo que eventuais correções de micronutrientes via adubação foliar poderiam ser realizadas até V9.

Agradecimentos

À CAPES, pela concessão da bolsa ao 1º autor e à Nexsteppe Sementes do Brasil, pelo total suporte técnico na condução do ensaio.

Referências

- AMEEN, A., YANG, X., CHEN, F., TANG, C., DU, F., FAHAD, S., & XIE, G. H. Biomass Yield and Nutrient Uptake of Energy Sorghum in Response to Nitrogen Fertilizer Rate on Marginal Land in a Semi-Arid Region. **BioEnergy Research**, v. 10, n. 2, p. 363-376, 2017.
- BAFFA, D. C. F.; FREITAS, R. G.; BRASIL, R. P. C. O uso da vinhaça na cultura da cana-de-açúcar, Nucleus, Edição Especial, 2009.
- BERGAMASCHI, C., WÜRDIG ROESCH, L. F., DÖRR DE QUADROS, P., & DE OLIVEIRA CAMARGO, F. A. Ocorrência de bactérias diazotróficas associadas a cultivares de sorgo forrageiro. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, 2007.
- BORGES, I. D., FRANCO, A. A. N., KONDO, M. K., MARTINS, D. C., TEIXEIRA, E. C., & MOREIRA, S. G. Acúmulo de macronutrientes na cultura do sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 294-304, 2016.
- CALVIÑO, M., & MESSING, J. Sweet sorghum as a model system for bioenergy crops. **Current opinion in biotechnology**, v. 23, n. 3, p. 323-329, 2012.
- CARDOSO, M. R. D., MARCUZZO, F. F. N., & BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2015.
- DURÃES, F. o. m. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. *Agroenergia em Revista*, n. 3, p. 14-52, 2011.
- EMBRAPA. Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes. 2. Ed.rev.ampl. Brasília, 627p,2009.

EPSTEIN, E., & BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina, PR: Planta, 2006.

FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*, Lavras, 2005.

FERNANDES, C. B. S., SHIKIDA, P. F. A., & DA CUNHA, M. S. O mercado de trabalho formal no setor sucroalcooleiro no Brasil. **Redes**, v. 18, n. 2, p. 177-192, 2013.

FERNANDES, G., BRAGA, T. G., FISCHER, J., PARRELLA, R. A., DE RESENDE, M. M., & CARDOSO, V. L. FERNANDES, GISLAINE et al. Evaluation of potential ethanol production and nutrients for four varieties of sweet sorghum during maturation. **Renewable Energy**, v. 71, p. 518-524, 2014.

HAN, L. P., STEINBERGER, Y., ZHAO, Y. L., & XIE, G. H. Accumulation and partitioning of nitrogen, phosphorus and potassium in different varieties of sweet sorghum. **Field crops research**, v. 120, n. 2, p. 230-240, 2011.

KOCHENOWER, R., LARSON, K., BEAN, B., KENNY, N., MARTIN, K. Program High plains Production handbook, **United Sorghum Checkoff Program**, 113 p, 2016.

LAOPAIBOON, L., NUANPENG, S., SRINOPHAKUN, P., KLANRIT, P., & LAOPAIBOON, P. Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: Effects of carbon and nitrogen supplementations. **Bioresource technology**, v. 100, n. 18, p. 4176-4182, 2009.

MAGALHAES, P. C., DURAES, F. O.; RODRIGUES, J. A. S. Fisiologia da planta de sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2000.

MAW, M. J., HOUX, J. H., FRITSCHI, F. B. Sweet sorghum ethanol yield component response to nitrogen fertilization. **Industrial Crops and Products**, v. 84, p. 43-49, 2016.

MAY, A., MENDES, S., DA SILVA, D. D., PARRELLA, R. D. C., DE MIRANDA, R. A., DA SILVA, A. F., KARAM, D., PARRELLA, N. N. L. D., & SCHAFFERT, R. E. Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica Embrapa Milho e Sorgo, 36 p (Circular Técnica, 186), 2013.**

NEXSTEPPE. Departamento Assistência técnica NexSteppe, 2015.

PEREIRA FILHO, I. A., PARRELLA, R. A. D. C., MOEREIRA, J. A. A., MAY, A., VANDER FILLIPE, D. S., & CRUZ, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 118-127, 2013.

PHUKOETPHIM, N., SALAKKAM, A., LAOPAIBOON, P., & LAOPAIBOON, L. Improvement of ethanol production from sweet sorghum juice under batch and fed-batch fermentations: Effects of sugar levels, nitrogen supplementation, and feeding regimes. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 26, p. 84-92, 2017.

PROPHETER, J. L., & STAGGENBORG, S. Performance of annual and perennial biofuel crops: nutrient removal during the first two years. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 2, p. 798-805, 2010.

SAES ZOBIOLE, L. H., CASTRO, C. D., ALVARES DE OLIVEIRA, F., & OLIVEIRA JUNIOR, A. D. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, 2010.

SANTOS, F. C., Resende, A. V.; Filho Albuquerque, M. R.; May, A.; Cruz, S. C. B.; Gravina, G. A.; Parrella, R. A. C. Resposta do sorgo sacarino à adubação NPK em Latossolo de Cerrado da Região Central de Minas Gerais. Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 35 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 130), 2015.

SILVA, M. A., GRIEBELER, N. P., & BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

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.

VIANA, R. S., MAY, A., MATEUS, G. P., NETO, A. D. R., & LOPES, P. R. M. Aspectos tecnológicos de sorgo-sacarino submetido à aplicação de maturadores químicos. **Científica**, v. 45, n. 3, p. 204-213, 2017.

YOUNG, K. J., & LONG, S. P. Crop ecosystem responses to climatic change: maize and sorghum. **Climate change and global crop productivity**, p. 107-131, 2000.

ZHAO, D., REDDY, K. R., KAKANI, V. G., & REDDY, V. R. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. **European Journal of Agronomy**, v. 22, n. 4, p. 391-403, 2005.

Tabela 1 Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de massa seca de sorgo sacarino em função do número de dias após a emergência.

Parte da planta	Estimativa dos Parâmetros do modelo			Pi(min)	Pi(max)	f = a/(1+exp(-(x-x ₀)/b))
	a	X ₀	b	X ₀ -2b	X ₀ +2b	R ²
Folha	5730,6745	36,6554	5,1063	26	47	0,7707
Colmo	34419,781	56,7598	11,2118	34	79	0,9093
Panícula	2380,0037	63,4711	11,3265	41	86	0,7935
Total	43764,7505	55,8117	12,1016	32	80	0,9341

Tabela 2 Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de N, P e K na parte aérea de sorgo sacarino em função do número de dias após a emergência, e os respectivos valores.

Parte da planta	Estimativa dos Parâmetros do modelo			Pi(min)	Pi(max)	f = a/(1+exp(-(x-x ₀)/b))
	a	X ₀	b	X ₀ -2b	X ₀ +2b	R ²
Nitrogênio						
Folha	157,28	33,7611	3,3988	27	41	0,7522
Colmo	211,1305	36,6813	1,8832	33	40	0,8126
Panícula	58,0966	66,0678	10,7899	44	88	0,4571
Total	396,1613	36,4527	3,3413	30	43	0,9185
Fósforo						
Folha	18,2678	36,9822	2,9665	31	43	0,7408
Colmo	46,7731	49,3397	8,01	33	65	0,8349
Panícula	10,2584	62,1239	10,147	42	82	0,5498
Total	73,2252	47,0395	8,8785	29	65	0,9228
Potássio						
Folha	91,9328	27,6982	1,7379	24	31	0,4814
Colmo	430,1795	35,1423	0,3667	34	36	0,6443
Panícula	25,6159	99,0207	-12,7245	124	74	0,4201
Total	535,0616	35,006	0,329	34	36	0,8059

Tabela 3 Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de Ca, Mg e S na parte aérea de sorgo sacarino em função do número de dias após a emergência.

Parte da planta	Estimativa dos Parâmetros do modelo			Pi(min)	Pi(max)	f = a/(1+exp(-
-----------------	-------------------------------------	--	--	---------	---------	----------------

	Estimativa dos Parâmetros do modelo			Pi(min) Pi(max)		f =
	a	X0	b	X _{0-2b}	X _{0+2b}	a/(1+exp(-(x-x ₀)/b)) R ²
Cálcio						
Folha	27,5195	34,6462	2,646	29	40	0,6626
Colmo	75,302	37,827	2,4146	33	43	0,8664
Panícula	7,4237	71,5543	8,5037	55	89	0,3487
Total	105,9211	37,25	2,7298	32	43	0,9274
Magnésio						
Folha	20,7990	36,3805	3,6939	30	41	0,6024
Colmo	99,102	42,2169	5,1193	33	45	0,8103
Panícula	9,7607	62,877	6,4452	43	89	0,8178
Total	135,5965	42,2785	6,365	25	61	0,862
Enxofre						
Folha	17,355	37,0161	5,8178	25	49	0,7107
Colmo	114,5784	59,0534	11,9204	35	83	0,9204
Panícula	6,9354	62,6948	10,0451	43	83	0,5191
Total	143,5893	58,0897	12,7644	33	84	0,9391

Tabela 4 Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de micronutrientes na parte aérea de sorgo sacarino em função do número de dias após a emergência.

Micronutriente	Estimativa dos Parâmetros do modelo			Pi(min) Pi(max)		f =
	a	X0	b	X _{0-2b}	X _{0+2b}	a/(1+exp(-(x-x ₀)/b)) R ²
Cobre	201,0858	36,7469	3,0803	31	43	0,9451
Ferro	2599,2161	46,0093	1,9516	42	50	0,8089
Manganês	777,1376	37,501	2,421	33	42	0,8913
Zinco	816,9983	37,7742	3,3801	31	45	0,9593
Boro	290,5509	42,9724	0,2681	42	44	0,8015

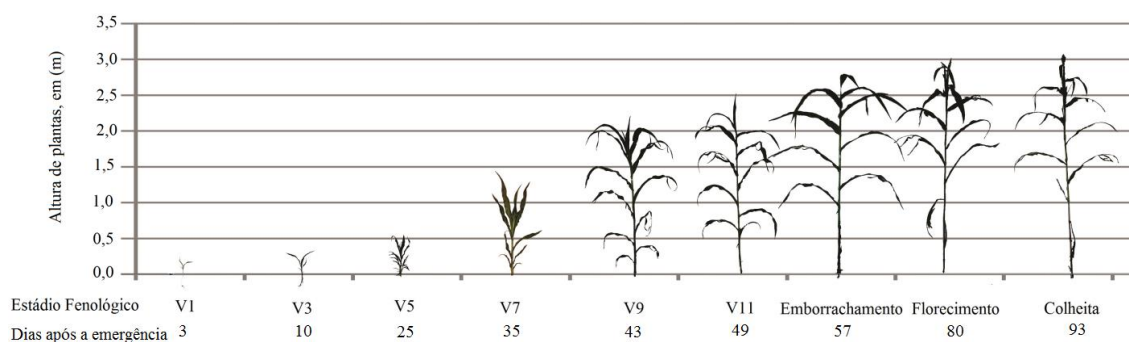


Figura 1 Estádios fenológicos da cultura do sorgo sacarino em que foram realizadas as coletas para a marcha de absorção de nutrientes, e altura correspondente. Safra 2016/17. Rio Verde, GO.

* Apenas o colmo principal está apresentado na figura (o perfilhamento se inicia a partir de V5).

** V1: 1ª folha verdadeira completamente expandida (surgida após a folha cotiledonar), ou seja, com o colar visível; V3, V5, V7, V9 e V11: 3, 5, 7, 9 e 11 folhas verdadeiras completamente expandidas; Emborrachamento: surgimento da folha bandeira; Florescimento: aparecimento da panícula; Colheita: pode ser realizada a partir do momento que o °Brix está acima de 12.

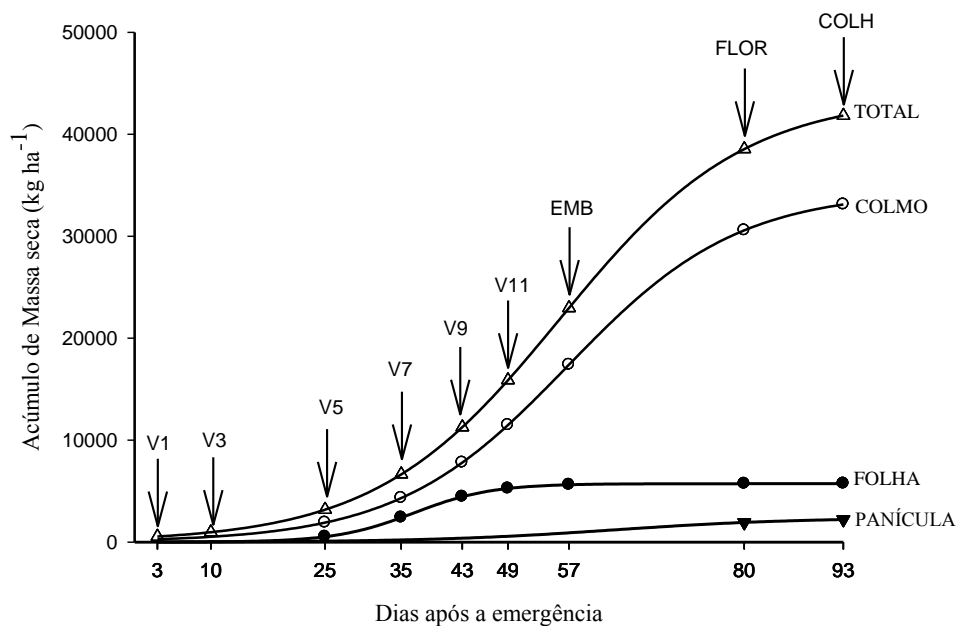
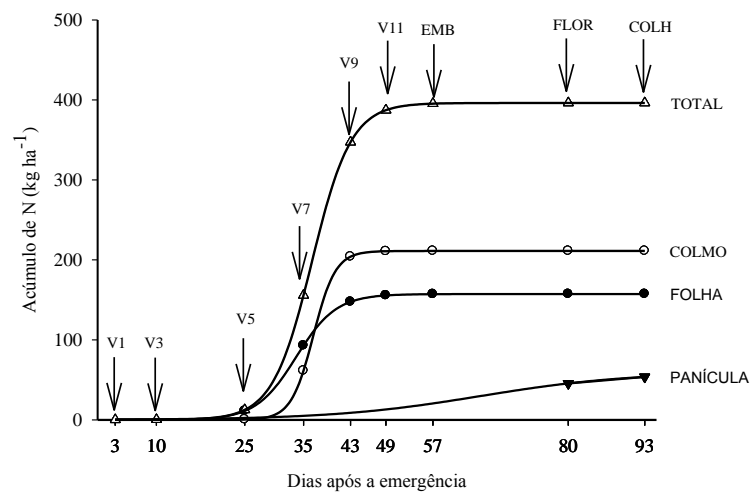
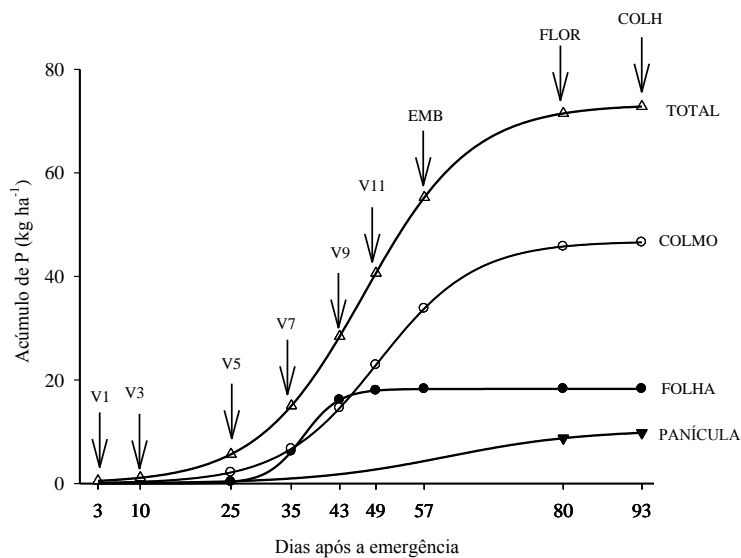


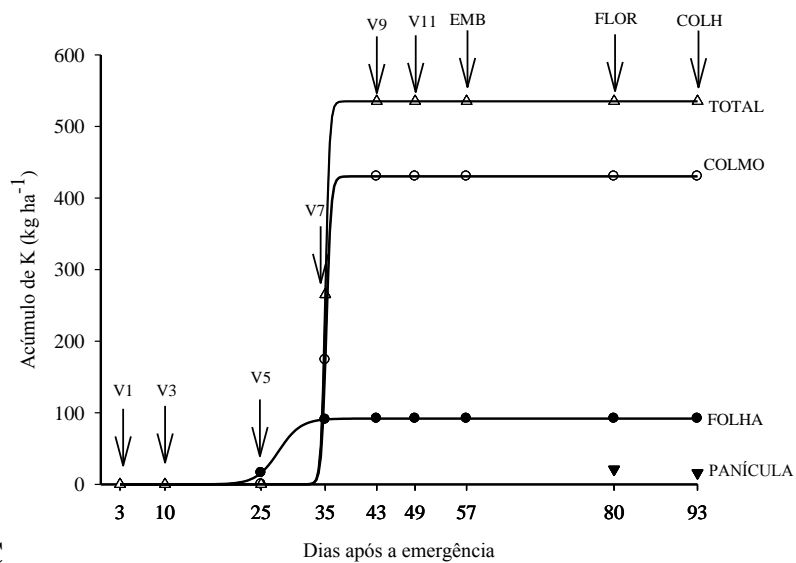
Figura 2 Acúmulo de matéria seca na parte aérea da cultura do sorgo sacarino em função de dias após a emergência.



A



B



C

Figura 3 Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) na parte aérea da cultura do sorgo sacarino em função de dias após a emergência.

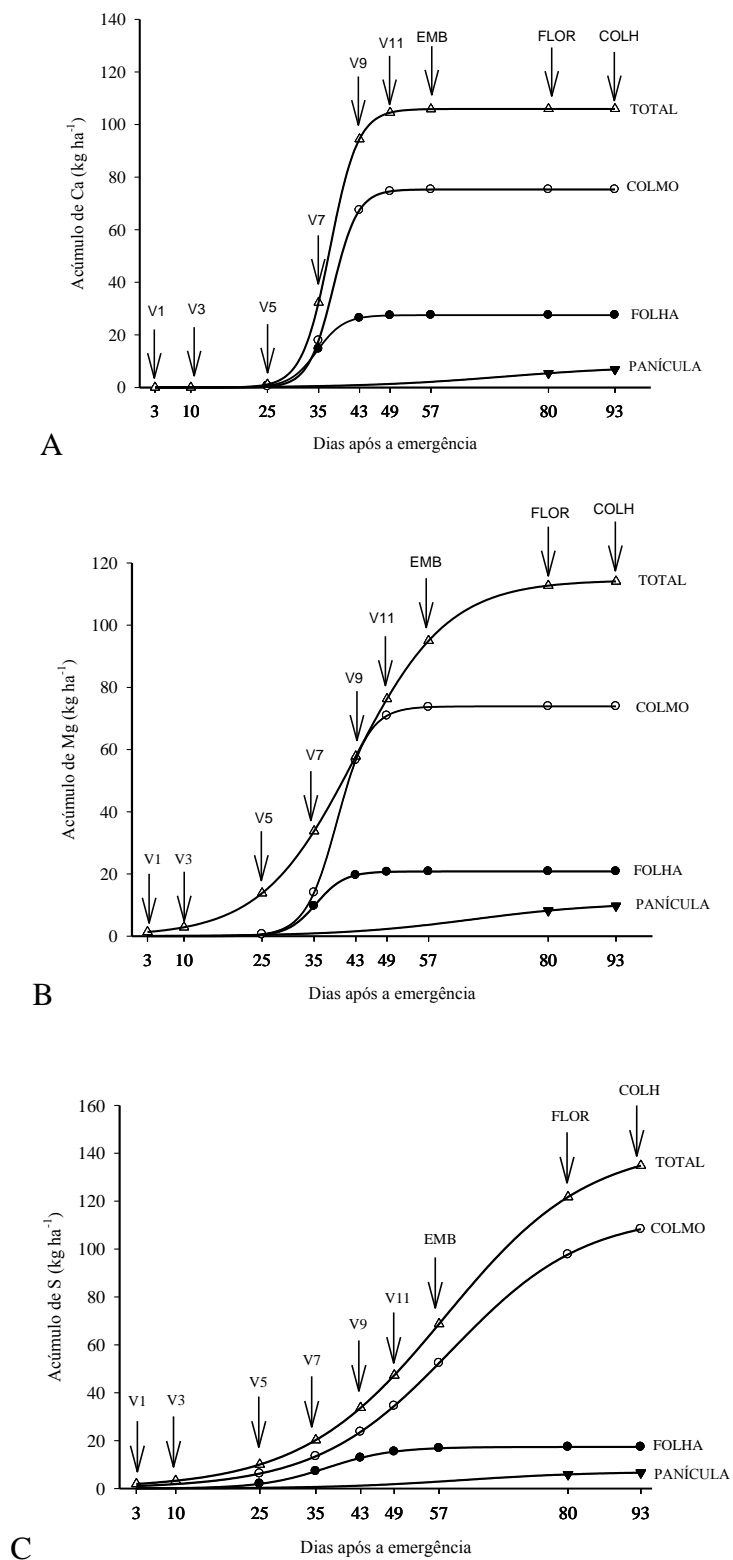


Figura 4 Acúmulo de cálcio (A), magnésio (B) e enxofre (C) na parte aérea da cultura do sorgo sacarino em função de dias após a emergência.

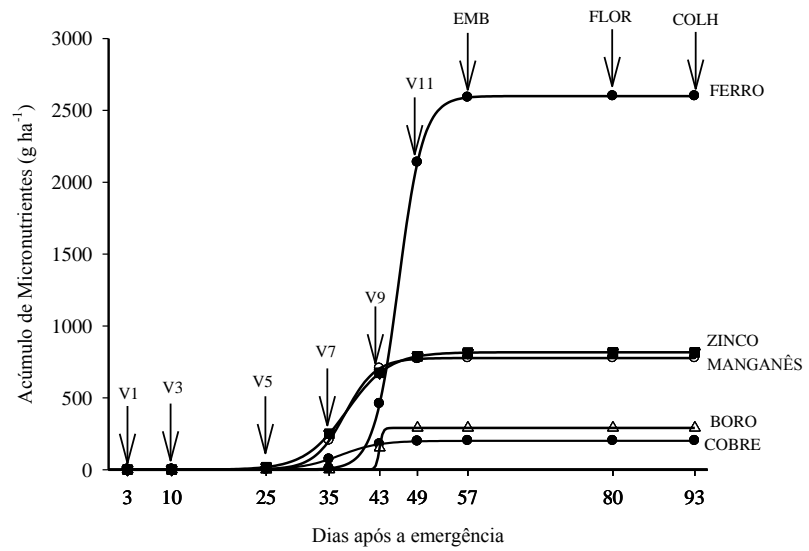


Figura 5 Acúmulo de micronutrientes na parte aérea da cultura do sorgo sacarino em função de dias após a emergência.

CAPÍTULO II

(Normas de acordo com a revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB)).

Marcha de absorção de macro e micronutrientes na cultura do sorgo biomassa

Resumo O sorgo biomassa (*Sorghum bicolor*) é uma fonte de energia renovável promissora tanto para a produção de energia obtida por processos de cogeração quanto para a fermentação. Nesse trabalho objetivou-se determinar o acúmulo de massa seca e o acúmulo de macro e micronutrientes em diferentes estádios fenológicos da cultura do sorgo biomassa. O experimento foi conduzido no município de Rio Verde, GO, em um Latossolo Vermelho, de textura média. O delineamento experimental utilizado foi o bloco ao acaso, com quatro repetições, sendo as coletas realizadas em nove estádios fenológicos: V1, V3, V5, V7, V9, V11, emborrachamento, florescimento e colheita. Analisou-se a produção de matéria seca e o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B. O acúmulo máximo de massa seca foi de 24.853 kg ha⁻¹. Sobre a absorção de N e K sugere-se que a adubação de cobertura (pelo menos parte dela) deve ser realizada antes do estádio V5. Para P, o fornecimento pode ser feito na semeadura, e uma eventual deficiência de micronutrientes pode ser corrigida via aplicação foliar até o estádio V9.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, nutrição mineral, acúmulo de matéria seca.

Macro and micronutrients uptake in biomass sorghum

Abstract: Sorghum biomass (*Sorghum bicolor*) is a promising source of renewable energy both for the energy produced by cogeneration processes and for fermentation. The objective of this work was to determine the accumulation of dry matter and macro and micronutrients in different phenological stages of the sorghum crop biomass. The experiment was conducted in Rio Verde, GO, Brazil, in a Red Latosol, of medium texture. The experimental design was the randomized block, with four replicates, being the samplings carried out in nine phenological stages: V1, V3, V5, V7, V9, V11, boot, flowering and harvest. Dry matter production and accumulation of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn and B were analyzed. The maximum dry mass accumulation was 24.853 kg ha⁻¹. Uptake of N and K suggests that topdressing fertilization (at least part of it) should be performed before the V5 stage. Phosphorus can be entirely provided at

sowing, and a possible micronutrient deficiency can be corrected by foliar application up to the V9 stage.

Index terms: *Sorghum bicolor*, mineral nutrition, dry matter accumulation.

Introdução

Nos últimos anos, o Brasil tem se deparado com crescente demanda por energia elétrica, em decorrência principalmente da instalação de novas indústrias de forma intensiva em São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e em Goiás (May et al., 2013). Para atender tal cenário e melhor lidar com oscilações do mercado, uma das alternativas que tem sido utilizada é a produção de energia via queima de matéria seca em caldeiras de alta pressão (May et al., 2013).

Entre plantas cultivadas, a cultura do sorgo biomassa (*Sorghum bicolor* L.Moench) apresenta-se como uma das principais fontes de matéria-prima para geração de energia e pode ser utilizadas tanto para produção de energia obtida por processos de cogeração quanto para a fermentação (Campi et al., 2016; Serra et al., 2017). O sorgo biomassa é uma planta C4 de origem tropical, que pode produzir biomassa de forma sustentável por sua alta eficiência em ambientes secos e marginais e com a capacidade da cultura de ter alta eficiência energética com baixa taxa de fertilizantes (Amaducci et al., 2016).

Os rendimentos do sorgo biomassa encontradas são de 22,13 Mg ha⁻¹ de matéria seca, e por tonelada de matéria seca tem a extração de 7,63; 1,09; 9,22; 3,18; 2,41; 0,64 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S para a variedade CMSXS 652 (Santos et al., 2015). Já Castro et al. (2015) encontrou produção de massa seca entre 40 e 30 t ha⁻¹ para CMSXS7012 e CMSXS7030 respectivamente com 62% de umidade e poder calorífico de 4.400 kcal kg⁻¹. Genótipos modernos e com alto potencial produtivo, entretanto, ainda não são bem estudados quanto à eficiência produtiva em resposta ao incremento de fertilizantes (Santos et al., 2014). Não existe consenso sobre valores de extração de nutrientes pela cultura, informação importante para que se possa fazer um manejo eficiente de adubação. Nesse contexto, objetivou-se determinar o acúmulo de massa seca e o acúmulo de macro e micronutrientes em diferentes estádios fenológicos da cultura do sorgo biomassa.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental da Empresa Nexsteppe Sementes do Brasil, localizada no município de Rio Verde, GO. De acordo Köppen-Geiger o clima da região é tropical, com estação seca no inverno (Aw), pluviometria anual média de 1400-1600 mm e temperatura média de 23-24°C (Cardoso et al., 2015). O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho, de textura média. Anterior à implantação do ensaio, o solo da área experimental foi amostrado (0,0-0,2 m) e analisado quanto às suas principais características químicas e texturais, obtendo-se os seguintes resultados: pH (CaCl₂) de 5,6; 40,6 e 8,6 mg dm⁻³ de M.O. e P, respectivamente; 0,13, 2,64 e 1,16 (cmol_c dm⁻³) respectivamente de K, Ca e Mg para H+Al 3,08 dag kg⁻¹, respectivamente; saturação por bases de 56% e 45, 34 e 21% de argila, areia e silte, respectivamente.

Utilizou-se como material o híbrido Palo Alto 2562, da Nexsteppe Sementes do Brasil que apresenta ciclo tardio com florescimento entre 80 e 90 dias e uma produtividade de (40 – 50 t ha⁻¹) de massa verde e assim gerando de (20 – 25 t ha⁻¹) de massa seca com plantio recomendado entre novembro e dezembro para produção de poder calorífico de 1800 Kcal Kg⁻¹ colhido em uma umidade 50 – 60 %, deve ser espaçada de 45 a 50 cm apresentando baixa emissão de perfilhos e a altura média de 4,8m e tem uma boa fitossanidade e tem fotossensibilidade.

A semeadura foi realizada em 15/11/2016, com semeadora-adubadora mecânica para plantio direto dotada de sistema a vácuo, com seis linhas espaçadas 0,50 m entre si e buscando a população de 240 mil plantas ha⁻¹, que por ocasião do raleio manual (realizado em V1) foi precisamente ajustada para 120 mil plantas ha⁻¹. Foram semeadas quatro parcelas constituídas por seis linhas de plantas de 30 m de comprimento cada, sendo as coletas realizadas no tempo, caracterizando as subparcelas.

A adubação foi realizada a fim de que não ocorressem quaisquer deficiências nutricionais, e se baseou em resultados prévios. No sulco de semeadura, foram adicionados 480 kg ha⁻¹ do formulado 8-28-16. Em cobertura foram realizadas outras duas aplicações, nos estádios V5 e V9, de 400 kg ha⁻¹ do formulado 20-00-20. Por ocasião do estádio V9 ainda foi aplicado sulfato de magnésio (1 kg ha⁻¹), e 1 L ha⁻¹ de um produto à base de nutrientes (S 6,90%, B 0,20%, Cu 0,50%, Mn 8%, Mo 0,05%, Zn 3%). Para o controle da Lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foram realizadas aplicações com o Tiametoxam e o Alfa-Cipermetrina sendo aos 11 e 23 DAE, já para o

controle de plantas daninhas ou mesmo doenças não foi aplicado não por não ter tido problemas.

Para determinação da curva de crescimento e de acúmulo de nutrientes, as plantas foram amostradas em nove estádios fenológicos: V1, V3, V5, V7, V9, V11, emborrachamento, florescimento, e colheita, como demonstrado na figura 1. Que ocorreram respectivamente, aos 5, 11, 17, 25, 33, 45, 72, 81 e 95 DAE. Ressalta-se que as coletas foram realizadas quando mais de 50% das plantas se encontravam no estágio em questão.

Não existe uma escala fenológica específica para a cultura do sorgo sacarino, e embora alguns conceitos como dos estágios de V1 ao emborrachamento foram seguidos de acordo com Kochenower et al. (2016), a definição dos estádios fenológicos ocorreu de acordo com o que convencionalmente se utiliza para fins de manejo no campo.

As plantas coletadas foram lavadas em água destilada e separadas – à exceção da amostragem realizada em V1 e V3 (quando não se separou a planta em partes) – em colmo, folhas e panículas para panícula foi se separado apenas nos estádios florescimento e colheita. O material vegetal foi colocado em sacos de papel e acondicionado em estufa de secagem com circulação forçada de ar a 65°C até massa constante. Posteriormente, todas as amostras foram pesadas (para determinação do acúmulo de matéria seca), moídas em moinho de facas tipo Willey, e analisadas quanto aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B, conforme metodologias descritas em Embrapa (2009). As análises foram realizadas no laboratório de Química Agrícola do IF Goiano – Campus Rio Verde.

Por ocasião da colheita também se mensurou a altura de plantas (medida da superfície do solo até a panícula), o diâmetro de colmo (medido no 3º nó contado de baixo para cima), o poder calorífico e a produção de massa fresca. A matéria seca total da parte aérea das plantas foi obtida com o somatório dos valores de massa seca das partes (folha, caule e panículas). O acúmulo de cada nutriente em cada parte da planta foi calculado por meio da relação do teor do nutriente das mesmas pela matéria seca de cada parte, sendo os valores obtidos em kg ha^{-1} .

Por se tratar de dados quantitativos e haver correlação entre DAE (x) e a produção de massa seca ou acúmulo de nutrientes (y), os dados foram analisados por modelo de regressão não linear, função Gaussian com três parâmetros, seguindo o procedimento descrito por Borges et al. (2016), descrito a partir da seguinte equação:

$$Y = \frac{a}{1 + \exp - \left(\frac{X - X_0}{b} \right)}$$

Em que:

a= Ponto máximo da curva;

b= Parâmetro de ajuste;

X₀= Ponto de inflexão.

O ponto de inflexão corresponde ao momento em que ocorreram as taxas máximas de acúmulo diário (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) utilizado os parâmetros das equações não lineares:

$$PC_{\min} = X_0 - 2b$$

$$PC_{\max} = X_0 + 2b$$

O PC(min) indica o momento na curva do acúmulo em que se iniciam ganhos expressivos no acúmulo MS e nutrientes. Já o PC (max) indica o momento em que o acúmulo dos elementos começa a se estabilizar.

Resultado e Discussão

Por ocasião da colheita, o sorgo biomassa apresentou altura de 4,52 m, diâmetro de colmo de 2,1 cm e poder calorífico de 3.620 kcal kg⁻¹ com produção de massa fresca de 64.925 kg ha⁻¹. May et al. (2016), trabalhando com diferentes espaçamentos para o sorgo biomassa, encontrou alturas médias de 5,24 e 4,83 m e diâmetro de colmo 1,9 cm para a cultivar CMSXS 7015.

Já Castro et al. (2015) encontrou produção de massa seca entre 40 e 30 t ha⁻¹ para CMSXS7012 e CMSXS7030 respectivamente , com 62% de umidade e poder calorífico de 4.400 kcal kg⁻¹ Já Pannacci & Bartolini, (2016) para o híbrido H952, num trabalho que buscou avaliar a produção e qualidade da biomassa de 8 híbridos teve massa seca (MS) 25.900 kg ha⁻¹. Valores semelhantes 24.427 kg ha⁻¹ da Tabela 1.

O acúmulo de MS ocorreu de forma lenta até os 35 DAE, PC_{min}, apresentado um ganho expressivo no acúmulo de MS sendo a partir do estágio V9 que só começou a se estabilizar próximo ao emborrachamento sendo aos 68 DAE, PC_{max} e atingindo valores máximos de acúmulo de 24.427 kg ha⁻¹ (Tabela 1). Sendo que saiu de 2.307,1 kg ha⁻¹ em V9 que foi quando se começou com ganhos expressivos de MS e

começado a se estabilizar o acúmulo ao atingir 22.531 kg ha⁻¹ no emborrachamento, representando um acúmulo de 20.224 kg ha⁻¹ em 39 dias.

Essa alta produção de MS demonstra que o sorgo biomassa é uma ótima matéria-prima para a produção de cogeração de energia essa MS está em grande parte ligada a sua maior relação de acúmulo de MS nos colmos (Ameen et al., 2017). Essa relação de maior acúmulo nos colmos foi encontrada para o sorgo Palo Alto 2562, que obteve a seguinte relação: colmo, folha e panícula: (77,8; 13,4, e 8,8%) respectivamente (Figura 2). Essa relação também foi encontrada por Santos et al. (2014) para variedade CMSXS 7020 a seguinte relação para colmo, folha e panícula (76,34; 17,69 e 5,59) respectivamente.

Com esses altos acúmulos de MS o sorgo biomassa apresenta alto potencial de produção de MS, essa produção é variável e depende de fatores como época, genética e adubação. Essa produção de MS variável foi constatada por Santos et al., (2014) e encontrou para variedade CMSXS 7020 em dois anos de cultivo, com adubações de 240 N e 180 K kg ha⁻¹ sendo que no primeiro ano 10.900 kg ha⁻¹ e no segundo 15.920 kg ha⁻¹ de MS e quando utilizou a adubação de 160 N e 120 K logo deparou no primeiro ano 12.890 kg ha⁻¹ e no segundo 18.100 kg ha⁻¹ de MS.

Já o acúmulo de N, observa-se que nos estádios iniciais a absorção foi lenta o estádio V7 (Figura 3A), sendo que os acúmulos expressivos de N foi aos 26 DAE, PC_{min} no qual só foi estabilizar o acúmulo de N aos 57 DAE, PC_{max} (Tabela 2) estando entre os estádios V11 e emborrachamento O acúmulo de N no período entre V5 que foi quando começou a ter acúmulos expressivos de N, que saiu de 32 Kg ha⁻¹ para o emborrachamento, que foi próximo quando começou a estabilizar o acúmulo de N na cultura que obteve 282,8 Kg ha⁻¹ acumulado, esse período representou acúmulo de 250,8 Kg ha⁻¹ em 47 dias (Tabela 2).

E em relação ao acúmulo máximo de N, apresentou 288,9 kg ha⁻¹ (Tabela 2) sendo maiores que os 198 Kg ha⁻¹ de N, fornecidos via adubações de plantio e de cobertura. Valores próximos de extração de N para o sorgo biomassa, também foram encontrados por Santos et al. (2015) para a variedade CMSXS 652 e obteve a produção para MS de 33.950 Kg ha⁻¹ ocorreu a extração de 242 kg ha⁻¹ de N.

Com valores próximos aos 300 kg ha⁻¹ mostra alto acúmulo de N e assim demonstra o papel de grande importância que o nutriente tem para a produtividade e desenvolvimentos do sorgo biomassa. Uma vez que está diretamente envolvido no processo da fotossíntese (Santos et al., 2014). O N está tão presente na folha que

representa 42,4% dos nutrientes absorvidos pela folha, para o sorgo biomassa (Tabela 2).

Assim como ocorrido para N, o acúmulo de P foi lento até o estágio V7 (Figura 3B), dando início a ganhos expressivos no acúmulo de P aos 28 DAE, PC_{min} que teve rápido acréscimo até começar a se estabilizar aos 59 DAE, PC_{max} que está entre os estágios V11 e emborrachamento (Tabela 2). E obteve máximo acúmulo de P de 37,8 kg ha⁻¹. Valores próximos foram encontrados por Santos et al. (2015), para a variedade CMSXS 652, que obteve a produção para MS de 33.950 Kg ha⁻¹ ocorreu a extração de 32 kg ha⁻¹ de P.

Analisando-se a exportação dos nutrientes no final do ciclo averigua que ocorre o acúmulo de nutrientes na panícula, sem que haja alteração no total absorvido, isso é, por causa da translocação de nutrientes dos colmos e folhas para panículas, as maiores translocação desses nutrientes são o N, P, e Mg (Figura 3A, 3B e 4B), sendo que a panícula teve maior expressão na quantidade de acúmulo de nutrientes para P, N e Mg que procedeu pela seguinte porcentagem de acúmulo (21,3; 15,7 e 9,8%). Essa relação também foi encontrada por Coelho et al. (2002) para o sorgo granífero, e verificaram que a P, N e Mg são os nutrientes mais translocados para as panículas e, conseqüentemente, para os grãos de sorgo.

A absorção de K apresenta um padrão diferente em relação ao N e ao P, com a máxima acumulação ocorrendo no período de desenvolvimento vegetativo, particularmente de V5 ao emborrachamento (Figura 3C), pois N e P ainda têm acumulação e grande translocação para a formação dos grãos. Isso sugere maior necessidade de K na fase inicial de desenvolvimento da cultura, como “elemento de arranque” (Coelho et al., 2002). Nessa fase inicial o K apresenta arranque expressivo no seu acúmulo a partir dos 25 DAE, PC_{min} (Tabela 2) que corresponde ao estágio V7 (Figura 3C) esse arranque vai até onde o acúmulo de K começa a estabilizar que é aos 48 DAE, PC_{max} que é 3 dias após o estágio V11 isso em 23 dias.

O K apresenta taxa de absorção superior ao de N e P, sugerindo maior necessidade desse elemento, que a acumulação máxima de potássio foi de 447 Kg ha⁻¹. Também foi encontrado valores acima de 200 kg ha⁻¹ para extração de K por Santos et al. (2015), para a variedade CMSXS 652, no qual obteve a produção para MS de 33.950 Kg ha⁻¹ houve a extração de 298 kg ha⁻¹ de K.

Para cultura do sorgo biomassa o K foi nutriente mais absorvido pela cultura, desta forma apresentando como boa opção para áreas com excesso de K, podem causar a salinização do solo ou enriquecimento dos lençóis freáticos. Problema exposto por

Baffa et al.(2009) retratando que a aplicação da vinhaça pode acontecer a poluição do lençol freático através da lixiviação do potássio e do nitrato, além de que o consumo de luxo de potássio pela cana-de-açúcar pode reduzir sua qualidade. O K pode ainda trazer benefícios como evitar o acamamento visto que a cultura tem um porte alto acima de 4 m (Júlio et al., 2016).

Na ordem de absorção de macro nutrientes pela cultura do sorgo biomassa, o Ca aparece como o terceiro macro nutriente mais absorvido pela cultura do sorgo biomassa, sendo que apresenta a absorção lenta até aos 32 DAE, PC_{min} (Tabela 3) estando próximo ao estágio V9 (Figura 4A). A partir daí, a cultura saiu do acúmulo de $12,6 \text{ kg ha}^{-1}$ até começar estabilizar seu acúmulo aos 55 DAE, PC_{max} (Tabela 3) ficando entre os estádios V11 e emborrachamento em que acumulou $87,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca, desta forma acumulando $74,5 \text{ kg ha}^{-1}$ em 23 dias. O Ca obteve a absorção máxima de $99,3 \text{ kg ha}^{-1}$ e a relação de absorção nos seus órgãos folha, colmo e panícula da seguinte forma: 17,4, 78,4 e 4,2%), respectivamente (Tabela 3). O acúmulo máximo de Ca foi de $99,3 \text{ kg ha}^{-1}$.

Assim como para Ca, o acúmulo de Mg foi lento inicialmente até o estágio V9 (Figura 4B), sendo que só a partir dos 35 DAE, PC_{min} que o Mg apresentou acúmulos expressivos, esses acúmulo expressivo foi só começar a se estabilizar aos 57 DAE, PC_{max} (Tabela 3). Sendo que aos 35 DAE apresentava $11,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de acúmulo de Mg e aos 57 DAE apresentava 82 kg ha^{-1} acontecendo nesse período acúmulo de $70,7 \text{ kg ha}^{-1}$ em 22 dias. O acúmulo máximo de Mg na cultura do sorgo biomassa foi de $92,6 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 3), sendo distribuído em folha, colmo e panícula na proporção de 14,0, 76,5 e 9,5%, respectivamente. O Mg tem papel importante no metabolismo das plantas, estando presente na molécula de clorofilas, participando de processos de ativação enzimática e atuando como carregador de P, (Epstein & Bloom, 2006).

O acúmulo de S foi baixo, até nos estágios iniciais só tendo aumento acentuado aos 35 DAE, PC_{min} (Tabela 3), que corresponde ao $8,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de S no estágio de desenvolvimento V9 (Figura 4C), esse aumento acentuado ocorreu até os 63 DAE, PC_{max} (Tabela 3) que foi quando começou a estabilizar o acúmulo de S, os 63 DAE, com acúmulo de $60,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de S e estão entre os estádios V11 e emborrachamento. O acúmulo máximo de S foi de $68,6 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 3).

Os micronutrientes tiveram acumulação lenta no início dos estágio, os micronutrientes Cu, Fe, Mn, Zn e B apresentaram aumento acentuado na sua acumulação entre 30 e 33 DAE, PC_{min} (Tabela 4), que está entre os estádios V7 e V9 (Figura 5). O Fe foi o micronutriente mais absorvido pela cultura do sorgo sacarino,

chegando a 2027 g ha⁻¹, seguido pelo Zn que teve acúmulo máximos de 1015,3 g ha⁻¹, o Mn apresentou momento de estabilização aos 37 DAE, PC_{max} e máxima absorção de 518,9 g ha⁻¹, já Cu e o B apresentam comportamentos parecidos e atingindo valores de acúmulo total de 268,5 e 185,8 g ha⁻¹ respectivamente (Tabela 4).

Conclusões

O maior acúmulo de MS na parte aérea do sorgo biomassa aconteceu na colheita aos 95 DAE. E quantidade de macro nutrientes extraída e acumulada na parte aérea da cultura do sorgo biomassa obedeceu a seguinte ordem: K>N>Ca>Mg>S>P.

A ordem de extração e acúmulo de micronutrientes na parte aérea da cultura do sorgo biomassa (híbrido Palo Alto 2562) foi a seguinte: Fe>Zn>Mn>Cu>B.

A alta quantidade de K absorvida pelo sorgo biomassa (447 kg ha⁻¹) sugere que a cultura apresente alta capacidade de absorção de luxo desse nutriente, podendo ser então uma alternativa interessante de cultivo para áreas com histórico de aplicação de vinhaça e altos teores de K no solo.

O padrão de absorção de N e K sugere que a adubação de cobertura (pelo menos parte dela) deve ser realizada antes do estágio V5. Para P, o fornecimento pode ser feito na semeadura, e uma eventual deficiência de micronutrientes pode ser corrigida via aplicação foliar até o estágio V9.

Agradecimentos

À CAPES, pela concessão da bolsa ao 1º autor e à Nexsteppe Sementes do Brasil, pelo total suporte técnico na condução do ensaio.

Referências

- AMADUCCI, S., COLAUZZI, M., BATTINI, F., FRACASSO, A., & PEREGO, A. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on the production of biogas from maize and sorghum in a water limited environment. **European Journal of Agronomy**, v. 76, p. 54-65, 2016.
- AMEEN, A., YANG, X., CHEN, F., TANG, C., DU, F., FAHAD, S., & XIE, G. H. Biomass Yield and Nutrient Uptake of Energy Sorghum in Response to Nitrogen Fertilizer Rate on Marginal Land in a Semi-Arid Region. **BioEnergy Research**, v. 10, n. 2, p. 363-376, 2017.

- BAFFA, D. C. F.; FREITAS, R. G.; BRASIL, R. P. C. O uso da vinhaça na cultura da cana-de-açúcar, **Nucleus**, Edição Especial, 2009
- BORGES, I. D., FRANCO, A. A. N., KONDO, M. K., MARTINS, D. C., TEIXEIRA, E. C., & MOREIRA, S. G. Acúmulo de macronutrientes na cultura do sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 294-304, 2016.
- CAMPI, P., NAVARRO, A., PALUMBO, A. D., MODUGNO, F., VITTI, C., & MASTRORILLI, M. Energy of biomass sorghum irrigated with reclaimed wastewaters. **European Journal of Agronomy**, v. 76, p. 176-185, 2016.
- CARDOSO, M. R. D., MARCUZZO, F. F. N., & BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2015.
- CASTRO, F. M. R., BRUZI, A. T., NUNES, J. A. R., PARRELLA, R. A. C., LOMBARDI, G. M. R., ALBUQUERQUE, C. J. B., & LOPES, M. Agronomic and energetic potential of biomass sorghum genotypes. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 1862-1873, 2015.
- COELHO, A. M., WAQUIL, J. M., KARAM, D., CASELA, C. R., & RIBAS, P. M. Seja o doutor do seu sorgo. **Informações Agrônomicas**, n. 100, p. 1-12, 2002.
EMBRAPA. Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes. 2. Ed.rev.ampl. Brasília, 627p,2009
- EPSTEIN, E., & BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina, PR: Planta, 2006.
- JÚLIO, G. M. F., DOS SANTOS, F. C., MARTINS, A., DOS PASSOS, A., DE ALBUQUERQUE FILHO, M. R., & FERREIRA, M. L. Manejo da adubação potássica de cobertura no sorgo biomassa, 2016.
- KOCHENOWER, R., LARSON, K., BEAN, B., KENNY, N., MARTIN, K. Program High plains Production handbook, **United Sorghum Checkoff Program**, 113 p, 2016.
- MAY, A., DA SILVA, D. D., & DOS SANTOS, F. C. Cultivo do sorgo biomassa para a cogeração de energia elétrica. **Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E)**, 2013.
- MAY, A., SOUZA, V. F. D., GRAVINA, G. D. A., & FERNANDES, P. G. Plant population and row spacing on biomass sorghum yield performance. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 434-439, 2016.
- PANNACCI, E., & BARTOLINI, S. Evaluation of sorghum hybrids for biomass production in central Italy. **Biomass and Bioenergy**, v. 88, p. 135-141, 2016.
- SANTOS, F. C., ALBUQUERQUE FILHO, M. R., RESENDE, Á. V., OLIVEIRA, A. C., GOMES, T. C., & OLIVEIRA, M. S. Adubações nitrogenada e potássica no sorgo biomassa-produtividade e qualidade de fibra. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2014.

SANTOS, F. C., ALBUQUERQUE FILHO, M. R., RESENDE, Á. V., OLIVEIRA, A. C., OLIVEIRA, M. S., & GOMES, T. C. Adubação nitrogenada e potássica na nutrição e na extração de macronutrientes pelo sorgo biomassa. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 10-22, 2015.

SERRA, P., GIUNTOLI, J., AGOSTINI, A., COLAUZZI, M., & AMADUCCI, S. Coupling sorghum biomass and wheat straw to minimise the environmental impact of bioenergy production. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 242-254, 2017.

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.

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de massa seca de sorgo biomassa em função do número de dias após a emergência

Parte da planta	Estimativa dos Parâmetros do modelo			Pi(min)	Pi(max)	f = a/(1+exp(-(x-x ₀)/b))
	a	X ₀	b	X ₀ -2b	X ₀ +2b	R ²
Folha	3361,8057	37,746	6,4916	25	51	0,8606
Colmo	19586,0126	52,0043	6,8395	38	66	0,9825
Panícula	2705,8041	86,0985	5,7632	75	98	0,8608
Total	24427,1345	51,6166	8,2356	35	68	0,9901

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de N, P e K na parte aérea de sorgo biomassa em função do número de dias após a emergência

Parte da planta	Estimativa dos Parâmetros do modelo			Pi(min)	Pi(max)	f = a/(1+exp(-(x-x ₀)/b))
	a	X ₀	b	X ₀ -2b	X ₀ +2b	R ²
Nitrogênio						
Folha	0,7234	29,916	4,6206	21	39	0,7234
Colmo	189,0096	44,9965	6,5818	32	58	0,8236
Panícula	55,7067	85,8829	4,3642	77	95	0,8741
Total	288,8741	41,5751	7,9472	26	57	0,9161
Fósforo						
Folha	9,7065	32,3323	4,6929	23	42	0,8398
Colmo	24,9455	45,3609	6,1597	33	58	0,9054
Panícula	12,9097	89,7435	5,3546	79	100	0,6667
Total	38,7763	43,4952	7,6786	28	59	0,9754
Potássio						
Folha	52,3888	25,5348	1,7823	22	29	0,4942
Colmo	388,8619	39,0698	5,7954	27	51	0,4918
Panícula	47,5476	87,8077	5,8892	100	76	0,8331
Total	447,0496	36,4739	5,7584	25	48	0,6526

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de Ca, Mg e S na parte aérea de sorgo biomassa em função do número de dias após a emergência, e os respectivos valores.

Parte da planta	Estimativa dos Parâmetros do modelo			Pi(min)	Pi(max)	$f = a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	R^2
	a	X0	b	X _{0-2b}	X _{0+2b}		
Cálcio							
Folha	18,2516	33,2104	4,1237	25	41	0,6793	
Colmo	78,85	45,5977	5,0576	35	56	0,8755	
Panícula	7,1203	86,2067	10,6188	65	107	0,6569	
Total	99,32	43,371	5,9071	32	55	0,9041	
Magnésio							
Folha	15,532	36,2061	5,6774	25	48	0,8072	
Colmo	72,6699	46,7746	4,4084	38	56	0,8564	
Panícula	11,3203	85,7158	5,1269	75	96	0,8047	
Total	92,5956	45,7717	5,4722	35	57	0,919	
Enxofre							
Folha	10,0807	32,7462	4,1519	24	41	0,7709	
Colmo	55,6142	50,1299	6,6463	37	63	0,9806	
Panícula	7,383	85,6545	5,6612	74	97	0,8015	
Total	68,6021	47,7477	7,4976	33	63	0,9878	

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de micronutrientes na parte aérea de sorgo biomassa em função do número de dias após a emergência.

Micronutriente	Estimativa dos Parâmetros do modelo			Pi(min)	Pi(max)	$f = a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	R^2
	a	X0	b	X _{0-2b}	X _{0+2b}		
Cobre	268,5132	42,5895	6,3101	30	55	0,8557	
Ferro	2027,0042	34,8235	1,4101	32	38	0,8023	
Manganês	518,8668	34,3382	1,3029	32	37	0,8478	
Zinco	1015,2742	42,8337	6,4997	30	56	0,853	
Boro	185,7725	46,8052	6,739	33	60	0,8192	

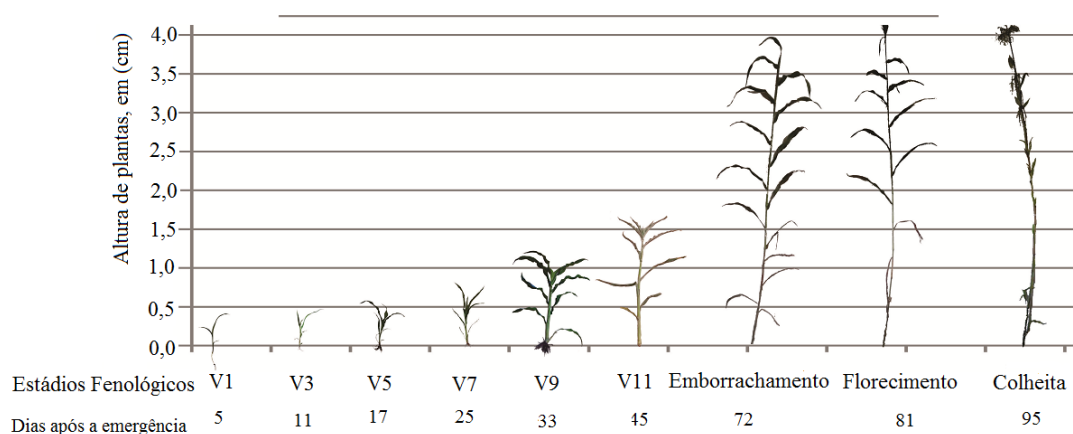


Figura 1. Estádios fenológicos da cultura do sorgo biomassa em que foram realizadas as coletas para a marcha de absorção de nutrientes, e altura correspondente. Safra 2016/17. Rio Verde, GO.

* Apenas o colmo principal está apresentado na figura (o perfilhamento se inicia a partir de V5).

** V1: 1ª folha verdadeira completamente expandida (surgida após a folha cotiledonar), ou seja, com o colar visível; V3, V5, V7, V9 e V11: 3, 5, 7, 9 e 11 folhas verdadeiras completamente expandidas; Emborrachamento: surgimento da folha bandeira; Florecimento: aparecimento da panícula; Colheita: realizada a partir do momento que a unidade do colmo estiver abaixo de 55% (no campo: > 75% de folhas secas).

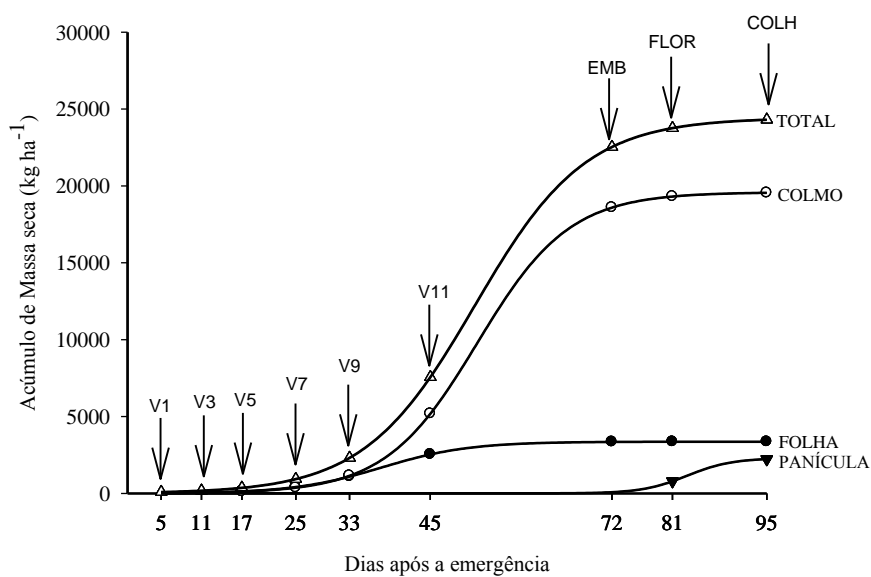


Figura 2. Acúmulo de matéria seca na parte aérea da cultura do sorgo biomassa função de dias após a emergência.

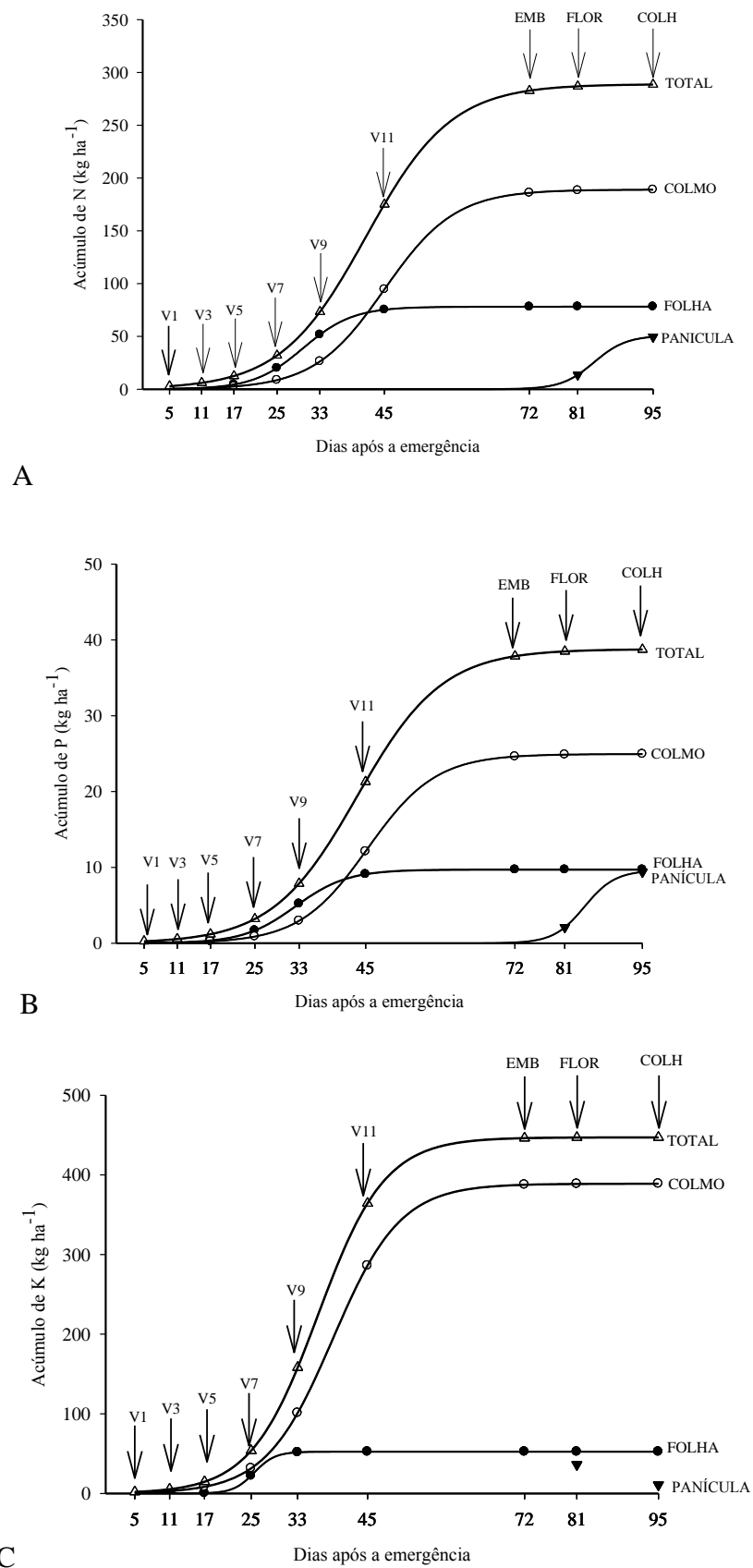


Figura 3. Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) na parte aérea da cultura do sorgo biomassa em função de dias após a emergência.

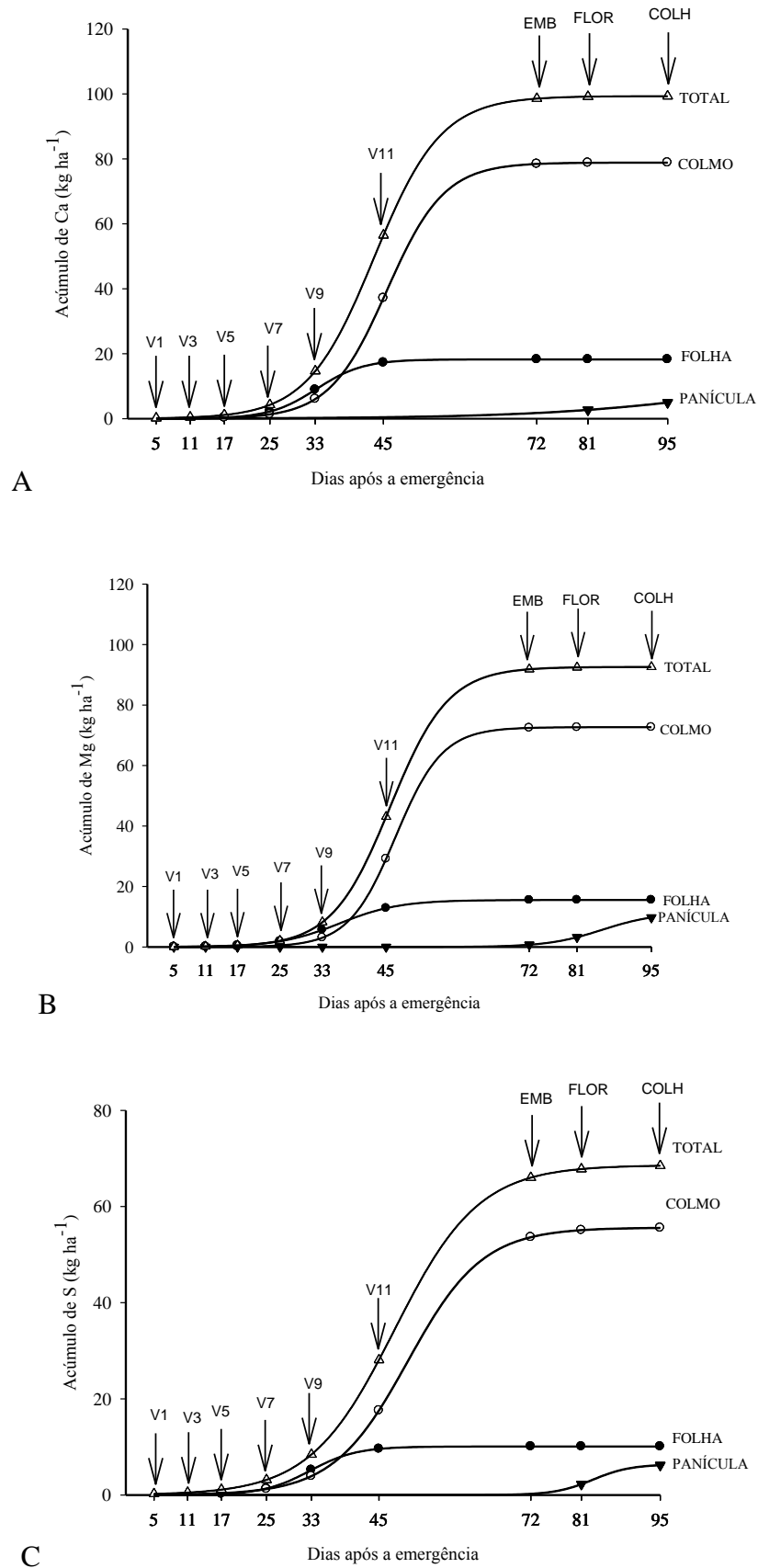


Figura 4. Acúmulo de cálcio (A), magnésio (B) e enxofre (C) na parte aérea da cultura do sorgo biomassa em função de dias após a emergência.

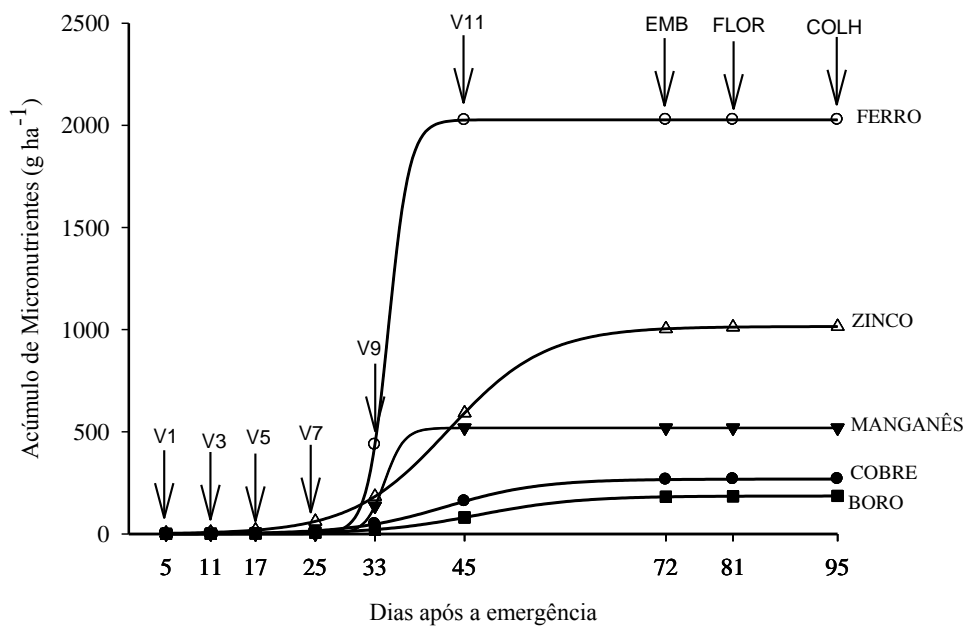


Figura 5. Acúmulo de micronutrientes na parte aérea da cultura do sorgo biomassa em função de dias após a emergência

Conclusão Geral

A cultura do sorgo sacarino, que é uma cultura muito promissora para geração de etanol, apresenta a seguinte ordem de extração de nutrientes: $K > N > S > Mg > Ca > P > Fe > Zn > Mn > B$ e Cu.

A absorção de N pelo sorgo sacarino é pequena nos estádios iniciais e aumenta gradativamente a partir de V5, de modo que se recomenda que a adubação nitrogenada de cobertura seja feita até esse estágio, que acontece 25 DAE.

Já a cultura do sorgo biomassa é uma cultura que apresentou boas características para cogeração de energia por causa do seu poder calorífico de 3.620 kcal kg^{-1} e da sua capacidade de produção de biomassa seca, que foi de 24302 $kg ha^{-1}$.

A quantidade de nutrientes extraída e acumulada na parte aérea da cultura do sorgo biomassa obedeceu a seguinte ordem: $K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Zn > Mn > Cu > B$.

Tanto o sorgo sacarino quanto o sorgo biomassa apresentam alta capacidade de absorção de K. Sugere-se que essa alta quantidade absorvida seja resultado de um processo de absorção de luxo do elemento, sendo as culturas alternativas interessantes de cultivo para áreas com histórico de aplicação de vinhaça e altos teores de K no solo.