

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E MACRONUTRIENTES
POR CULTIVARES DE SORGO SACARINO**

**Edimar Rodrigues Soares
Engenheiro Agrônomo**

2013

D
I
S
S.

/

S
O
A
R
E
S

E.
R.

2
0
1
3

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E MACRONUTRIENTES
POR CULTIVARES DE SORGO SACARINO**

Edimar Rodrigues Soares

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Campus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).**

2013

S676a

Soares, Edimar Rodrigues

Acúmulo de matéria seca e macronutrientes por
cultivares de sorgo sacarino / Edimar Rodrigues Soares. –
– Jaboticabal, 2013

xi, 29 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
2013

Orientador: Edson Luiz Mendes Coutinho

Banca examinadora: Anice Garcia, Carolina Fernandes
Bibliografia

1. Biocombustíveis. 2. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. 3.
Marcha de absorção. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.17

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

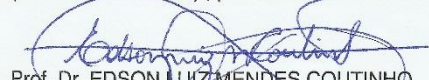
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E MACRONUTRIENTES POR CULTIVARES DE SORGO SACARINO

AUTOR: EDIMAR RODRIGUES SOARES

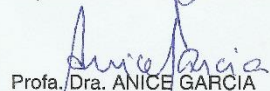
ORIENTADOR: Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Profa. Dra. ANICE GARCIA

Faculdade Doutor Francisco Maeda / Ituverava/SP



Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 23 de julho de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

EDIMAR RODRIGUES SOARES – Nascido em Jauru, MT, em 28 de julho de 1987, filho de Élio Martins Soares e Sonia Maria Soares. Coursou o ensino médio na Escola Estadual Professor Francisco de Paula Conceição Júnior em São Paulo-SP (2002-2004), onde trabalhou como feirante até o ano de 2006. Ingressou em fevereiro de 2007 no curso de Agronomia da Faculdade da Amazônia (FAMA)/Instituto de Ensino Superior da Amazônia (IESA), tendo concluído em agosto de 2011. Concluiu em agosto de 2011, nesta mesma instituição de ensino, o Curso de Especialização em Agronomia (Ciência do Solo e Produção Vegetal). Iniciou em março de 2012 o Curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na UNESP, Campus de Jaboticabal-SP, como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), com conclusão em julho de 2013.

Vivo com a poeira da enxada
Entranhada no nariz
Trago a roça bem plantada
Pra servir o meu país

Joel Marques / Maracaí

A saudosa Profª Sonia Maria Soares e ao
saudoso Prof. José Antônio Oliveira.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar a saúde e a coragem necessária para trilhar meu caminho.

Aos meus pais pela educação que me deram, sem a qual não teria chegado até aqui.

Ao meu orientador, Professor Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho pela atenção e o carinho com que me recebeu em Jaboticabal e também pela amizade, conselhos e ensinamentos durante esse período de trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos José Barbosa pela valiosa ajuda na análise dos dados.

A todos os meus familiares pelo apoio que têm me dado nas horas mais difíceis dessa caminhada.

Aos meus amigos Antonio João de Lima Neto, Márcio Silveira da Silva e Sérgio Bispo Ramos, companheiros de todas as horas.

Aos funcionários do departamento de Solos e Adubos da FCAV/UNESP, em especial a Claudia Campos Dela Marta.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES).

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	3
MATERIAL E MÉTODOS.....	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E MACRONUTRIENTES POR CULTIVARES DE SORGO SACARINO

RESUMO - As curvas de acúmulo de nutrientes auxiliam na compreensão das demandas nutricionais de uma cultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento acúmulo de macronutrientes pelas cultivares de sorgo sacarino CVSW80007, CVSW80147, CVSW82028, CVSW82158. O experimento foi conduzido em uma área de renovação de cana-de-açúcar no município de Uchoa-SP, sendo implantado em janeiro de 2012. As plantas foram coletadas em intervalos de 15 dias a partir do décimo dias após a emergência (DAE). O maior acúmulo de matéria seca, N, P, Mg e S, foi obtido pela cultivar CVSW82028, enquanto a 'CVSW82158' extraiu a maior quantidade de K e a 'CVSW80147,' de Ca. Os colmos representaram o maior percentual de matéria seca e nutrientes acumulados, com exceção do nitrogênio e do fósforo, em que os grãos corresponderam a maior porcentagem do total absorvido. As cultivares CVSW80007, CVSW82028 e CVSW82158 apresentaram a seguinte ordem decrescente de extração de nutrientes: $N > K > Ca > Mg > P > S$ e a 'CVSW80147', $K > N > Ca > Mg > P > S$. Considerando apenas colmo, a ordem decrescente de exportação de nutrientes é a mesma para todas as cultivares: $K > N > Ca > Mg > S > P$. No entanto, a sequência decrescente de exportação de nutrientes considerando colmos e grãos, é para as cultivares CVSW80007, CVSW80147 e CVSW82158: $K > N > Ca > Mg > P > S$ e $K > N > Mg > Ca > P > S$ para a 'CVSW82028'.

Palavras-chave: Biocombustível; *Sorghum bicolor* (L.) Moench; Marcha de absorção.

ACCUMULATION OF DRY MATTER AND MACRONUTRIENTS IN SWEET SORGHUM CULTIVARS

ABSTRACT – Nutrient accumulation curves help us understand the nutritional demands of a crop. The aim of this study was to evaluate the concentration and exportation of macronutrients by the sweet sorghum cultivars CVSW80007, CVSW80147, CVSW82028, CVSW82158. The experiment was conducted in a renewal sugarcane ratoon area at Uchoa county, SP, being deployed in January 2012. The plants were collected in 15 days intervals from the 10th after emergence (DAE). The greatest content of dry matter, N, P, Mg and S, was due to by the CVSW82028 cultivar, while the CVSW82158 extract the greatest amount of K and the CVSW80147 of Ca. The stalks represented the highs percentage of dry matter and nutrient content, except nitrogen and phosphorus, in which grains corresponded to the higher percentage of total absorption. The CVSW80007, CVSW82028 and CVSW82158 cultivars showed the following decreasing nutrient extraction N>K>Ca>Mg>P>S and the CVSW80147, K>N>Ca>Mg>P>S. Considering only the stalks harvest, the decreasing nutrient exportation is the same for all cultivars: K>N>Ca>Mg>S>P. Whereas the decreasing nutrient exportation sequence considering stalks and grain harvest is the following for the CVSW80007, CVSW80147 and CVSW82158 cultivars: K>N>Ca>Mg>P>S and K>N>Ca>Mg>P>S for the CVSW82028.

Keywords: Biofuel; *Sorghum bicolor* (L.) Moench; Absorption rate.

1. INTRODUÇÃO

Face a limitação das reservas mundiais de petróleo e a instabilidade no mercado deste produto, tem-se buscado em todo mundo, novas fontes de energia. Aliado a isso, há também, a preocupação com a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa. Nesse sentido, a utilização de energia renovável a partir da biomassa vegetal é uma alternativa viável, sendo que o Brasil destaca-se, nesse quesito, como grande produtor de etanol a partir da cana-de-açúcar (MAPA, 2006).

O Brasil é responsável por 20 e 50% das exportações mundiais de etanol e açúcar, respectivamente. Em relação ao açúcar, para suprir a demanda interna e continuar a manter esse percentual de exportação, a produção brasileira terá que aumentar 15 milhões de toneladas até 2020 (UNICA, 2012). Vale ressaltar que isto significa um aumento de 44% em relação à produção atual. Assim sendo, é preciso que se busque matérias-primas alternativas para a produção de etanol, pois a demanda tanto do etanol como do açúcar nos próximos anos será alta e se a produção da cana-de-açúcar não for suficiente poderá haver oscilação no preço destes produtos.

Embora a cana-de-açúcar provavelmente continuará a ser principal matéria-prima utilizada para a produção de etanol, outras culturas podem ser utilizadas para a produção deste biocombustível (MAPA, 2006). O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tem sido sugerido por diversos autores como matéria-prima potencial para a produção de etanol (VENTURI; VENTURI 2003; ROONEY et al., 2007). De acordo com Rosolem (1979), a expressão sorgo sacarino é utilizada para identificar cultivares de sorgo com alta concentração de açúcar nos colmos e nos grãos.

Entre as potenciais culturas para a produção de biocombustível, o sorgo sacarino merece considerável atenção (AMADUCI; MONTI; VENTURI, 2004; LOURENÇO et al., 2007; GOFF et al., 2010), pois tem alta capacidade de produção de biomassa (ROONEY et al., 2007; ZHAO et al., 2009). Essa planta C₄, em particular, oferece diversas vantagens sobre as outras culturas em relação a produção de biocombustíveis porque armazena no colmo açúcares fermentáveis que podem ser convertidos em combustível líquido (WU et al., 2010; ERICKSON et al., 2011).

Essa gramínea é uma excelente opção para cultivo em áreas de renovação de cana-de-açúcar que representam aproximadamente 1,3 milhões de ha ou 16% da área existente (KLINK, 2012). O sorgo sacarino pode servir como matéria prima complementar na entressafra da cana, antecipando em 2 a 3 meses o período de moagem nas usinas e podendo reduzir a oscilação no preço do etanol nesse período (PARELLA et al., 2010).

Salienta-se que há na literatura poucas informações sobre a demanda nutricional da cultura do sorgo sacarino, ao mesmo tempo que, os dados existentes são de experimentos antigos (ROSOLEM; MALAVOLTA, 1981a) e conduzidos com variedades, contrastando com o cenário atual, constituído principalmente de híbridos. Teoricamente, esses materiais são mais uniformes, apresentam maior produtividade e exigência nutricional.

O estudo do acúmulo de nutrientes em função da idade das plantas é de fundamental importância para auxiliar na definição das quantidades e épocas de aplicações de fertilizantes, contribuindo para o aumento da eficiência no manejo da cultura proporcionando ganhos em produtividade e na redução dos custos de produção, através da utilização racional e eficiente dos insumos.

Neste contexto, objetivou-se com esse trabalho determinar em função do tempo o acúmulo de matéria seca e macronutrientes em cultivares de sorgo sacarino.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A utilização do etanol (combustível) tem grande potencial para melhorar a segurança energética mundial, além de contribuir para a criação de um ambiente mais limpo (MARCOCCIA, 2007; PRASAD et al., 2007). Os acordos internacionais como o protocolo de Quioto, entre outros, firmados por vários países visando à independência de combustíveis fósseis tem aumentado a utilização do etanol. Nos últimos anos, o cenário atual em relação ao uso do etanol está se modificando, os EUA que antigamente não cogitavam a utilização do etanol como combustível, desenvolveu e ampliou o seu parque de produção de etanol, se tornando em pouco tempo um dos maiores produtores desse combustível (MARCOCCIA, 2007).

Porém, a maior parte do etanol produzido nos Estados Unidos utiliza como matéria prima o milho (ROONEY et al., 2007), e sendo este amplamente utilizado para alimentação humana e animal, a sua utilização para a produção de biocombustível pode interferir no preço dos alimentos. Na China, por exemplo, a expansão da produção de etanol com matérias-primas como trigo, milho e batata-doce pressionou o preço dos alimentos, havendo assim a necessidade de se buscar uma matéria-prima adequada para a produção de etanol visando reduzir o custo da conversão de biomassa vegetal em combustível líquido (WANG; LIU, 2009).

De acordo com Marcoccia (2007), os países subdesenvolvidos serão os futuros fornecedores de energia ao mundo, pois estes estão localizados nas regiões dos trópicos onde se encontra a maioria das terras remanescentes para a agricultura.

O Brasil detém, desde 1975, o mais importante programa de produção de combustível renovável implementado no mundo até hoje (UNICA, 2013). Em 2011, de toda a energia consumida no Brasil, 44,1% foi de fontes renováveis (BRASIL, 2013). Reconhecido internacionalmente neste quesito, nosso país tem potencial para crescer ainda mais, devido ao fato de possuir terras agricultáveis disponíveis e clima propício a produção agrícola, tendo portanto condições ideais para a produção de biocombustíveis (SOUZA, 2011).

Nos últimos anos, países como EUA, França, Espanha, Suécia e China têm utilizado diversas matérias primas para a produção de etanol em seus programas de

desenvolvimento de fontes de energia alternativa. Entre elas pode se destacar o milho, a beterraba açucareira, o sorgo sacarino, a mandioca, o trigo e resíduos florestais (MARCOCCIA, 2007).

O sorgo sacarino, por sua vez, possui grande adaptabilidade, além de alta taxa fotossintética e capacidade de acumular açúcar nos colmos semelhantes à cana-de-açúcar. Todas estas características do sorgo sacarino fazem dele uma matéria-prima muito atraente para a produção de etanol (BARBANTI et al., 2006).

Os colmos de sorgo sacarino são ricos em sacarose, glucose e frutose (SERRA, 1976; WU et al., 2010). Segundo Rosolem (1979), essa composição com monossacarídeos (glucose e frutose) e dissacarídeos (sacarose) facilita o processo de fermentação, enquanto outras matérias-primas como milho, batata-doce, batata, mandioca e o grão de sorgo, por apresentarem como fonte principal para a transformação em álcool, polissacarídeos (amido), podem onerar os custos. Isso ocorre porque, com o amido é necessário a quebra dos carboidratos (polissacarídeos) em glicose e, esta etapa adicional, encarece o processo de produção (MACHADO, 2011).

Silva et al. (1976), avaliando o balanço energético da cana-de-açúcar, mandioca e sorgo sacarino, verificaram a viabilidade da utilização deste, devido ao mesmo ter obtido balanço energético maior do que a mandioca e apenas 4% inferior ao da cana. Segundo Putnam et al. (1991), o custo energético da produção de etanol de sorgo sacarino é mais baixo do que o de outras culturas como a cana e a beterraba.

Outros autores (CORREDOR et al., 2009; LI et al., 2010), também ressaltam que a utilização de sorgo sacarino tem um futuro promissor devido a sua alta produção de biomassa por unidade de área e também ao menor custo de produção se comparado as outras culturas estudadas para a produção de etanol. Em comparação com o milho, o sorgo sacarino possui maior eficiência no aproveitamento da água para a produção de matéria seca (GENG et al., 1989; PRASAD et al., 2007).

Cowley (1969) relata que as raízes do sorgo sacarino absorvem água a profundidade de aproximadamente 1,70 m e que este amplo desenvolvimento do sistema radicular pode proporcionar condições para que a planta se desenvolva bem em solo relativamente pobres.

Para Teixeira et al. (1999), o alto potencial energético da planta de sorgo deve-se a este ser uma planta de ciclo curto, tolerante a períodos de seca, ter bom rendimento de colmos ricos em açúcares, sendo possível também a produção de grãos que podem ser utilizados para a alimentação animal, podendo este ser cultivado na maioria das regiões do Brasil. Pode-se ainda aproveitar o bagaço do sorgo sacarino como combustível para a produção de eletricidade (MONTI ; VENTURI, 2003; BLOTTNITZ; CURRAN 2007).

De acordo com Coutinho et al. (1987), o sorgo sacarino além de ciclo curto, permite o aproveitamento da planta toda, podendo ser uma opção viável para a produção de etanol na entressafra da cana-de-açúcar, ampliando o período de produção de etanol e aproveitando melhor a mão-de-obra. Broadhead & Dempsey (1969), relataram que a variedade Rio representou uma boa alternativa energética no período de entressafra da cana-de-açúcar no Estado do Mississippi nos EUA.

O sorgo sacarino pode ser uma excelente cultura alternativa para as áreas de renovação de cana-de-açúcar. A produção de etanol com a cana-de-açúcar é de 8.000 L ha⁻¹ ano⁻¹, já com a utilização do sorgo sacarino para a produção de etanol na época da entressafra da cana pode-se obter em conjunto com a cana até 11.700 L ha⁻¹ ano⁻¹ (KLINK, 2010).

Marcoccia (2007) afirma que apesar das perspectivas brasileiras desde a década de 1970 demonstrarem o potencial do sorgo sacarino, há ainda pouco interesse e divulgação, enquanto que outros países como EUA, China, Índia e União Europeia (EU) já vêm no sorgo sacarino uma alternativa viável que complementar a produção de etanol.

Na UE a adaptabilidade do sorgo sacarino tem sido testada nas regiões sul e norte (MARTÍNEZ-PÉREZ et al., 2007). Na China e na Índia, estudos têm sido realizados para avaliar a produção e a viabilidade econômica de etanol de sorgo sacarino (PRASAD et al., 2007; WANG; LIU, 2009). Segundo a FAO (2002), pesquisas na China com sorgo sacarino tem permitido a obtenção de 50 a 60 t ha⁻¹ de matéria verde por hectare e de 6000 a 7000 L ha⁻¹ ano⁻¹ de etanol com o aproveitamento dos colmos e dos grãos.

O sorgo sacarino se desenvolve bem em diferentes tipos de solos, no entanto, os maiores rendimentos são obtidos em solos mais profundos, bem drenados e de

boa fertilidade. O cultivo em solos muito rasos ou com baixo teor de matéria orgânica pode deixar a cultura mais propícia ao estresse hídrico. Embora, o sorgo sacarino seja mais resistente a deficiência hídrica que muitas outras culturas, a disponibilidade adequada de água durante o seu ciclo é essencial para um bom rendimento de colmos e de sulco (VERMERRIS et al., 2013).

Apesar da importância do tema, poucos são os estudos que avaliaram a exigência nutricional do sorgo sacarino. A capacidade de absorver os nutrientes do solo e as quantidades requeridas podem variar de acordo com cada cultivar. Essas características são intrínsecas do vegetal, mas também dependem dos fatores externos que condicionam o processo. No entanto, o acúmulo e a distribuição dos nutrientes na planta dependem de seu estágio de desenvolvimento (MARSCHNER, 1995; GOTO et al. 2001).

Através do entendimento dos padrões de acúmulo de matéria seca de uma cultura é possível compreender melhor os fatores relacionados com a nutrição mineral, pois, a absorção de nutrientes é influenciada pela taxa de crescimento da planta (GLASS, 1989; MASCHNER, 1995).

A avaliação do acúmulo de nutrientes nas diferentes fases de crescimento da planta permite compreender a época em que o nutriente é mais exigido e a sua distribuição nas diferentes partes da planta (ALVAREZ et al., 2005).

Rosolem (1979), estudando as curvas de acumulação de matéria seca e absorção de macronutrientes em duas cultivares de sorgo sacarino em condições de campo, verificou que a cultivar Brandes apresentou maior acúmulo de matéria seca e nutrientes que a cultivar Rio. Concluiu ainda que a ordem decrescente em exigência de nutrientes pelas duas cultivares foi $K > N > Ca > Mg > P > S$.

Franco (2011) avaliando a marcha de absorção de nutrientes de dois híbridos de sorgo, um forrageiro e um granífero, verificou a seguinte ordem decrescente de acúmulo para o sorgo forrageiro e granífero: $K > N > Ca > P > Mg > S$; $N > K > Ca > P > Mg > S$, respectivamente.

A compreensão das quantidades de minerais extraídos do solo pela cultura auxilia no seu manejo, contribuindo para a viabilidade a longo prazo dos sistemas de cultivo, reduzindo os impactos no ambiente (SINGH et al. 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Uchoa-SP, em uma área de renovação de cana-de-açúcar, localizado a uma latitude 20°53'42"S e a uma longitude 49°11'21"O, altitude de 552 m. O solo do local foi classificado, utilizando-se os critérios de Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média. Os atributos do solo na camada arável (0-20 cm) foram: pH (CaCl₂) 5,6; M.O. = 9 mg dm⁻³; P (resina) = 44 mg dm⁻³; K, Ca, Mg, H+Al, e CTC = 1,6; 29; 11; 15; 56,6 mmol_c dm⁻³, respectivamente; S-SO₄ = 2 mg dm⁻³; saturação por bases (V%) = 73; B (água quente), Cu, Fe, Mn e Zn (DTPA) = 0,15; 2,0; 18; 14,0 e 0,8 mg dm⁻³, respectivamente (RAIJ et al., 2001). Em termos de análise granulométrica, o solo apresenta: argila, silte e areia = 174; 1 e 825 g kg⁻¹, respectivamente, determinados de acordo com os métodos propostos por Camargo et al. (2009).

As cultivares de sorgo sacarino utilizadas foram: CVSW80007, CVSW80147, CVSW82028 e CVSW82158, sendo que estas foram semeadas em 22 de janeiro de 2012, com espaçamento de 0,70 m entre linhas. Na adubação de plantio foram aplicados 20, 60 e 60 kg ha⁻¹, respectivamente de N, P₂O₅ e K₂O. A emergência das plantas ocorreu aos 7 dias após a semeadura. Em cobertura, aos 20 dias após a emergência (DAE) das plantas (estádio V4) foram aplicados 40 kg ha⁻¹ de K₂O e 100 kg ha⁻¹ de N na forma de cloreto de potássio e ureia, respectivamente. O desbaste foi realizado aos 15 DAE, deixando um total de 8 plantas por metro linear, como intuito de se obter um estande de 120.000 plantas ha⁻¹. Após o desbaste realizou-se a aplicação do herbicida Atrazina (2 kg i.a. ha⁻¹), visando o controle de plantas daninhas.

As plantas foram cortadas rente ao solo, sendo as amostragens realizadas em intervalos de 15 dias a partir do décimo DAE. Na primeira coleta, foram amostradas 15 plantas e nas demais, cinco plantas. No laboratório, as plantas foram separadas em colmo, folha, panícula e grãos, quando presentes. As partes das plantas foram lavadas em água com detergente, passadas em água corrente, imersão em solução com 0,1 mol L⁻¹ HCl e em seguida em água destilada. Após a lavagem foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até atingir massa constante. Logo após, pesou-se as amostras para a obtenção

da produção de matéria seca, em seguida moídas em moinho tipo “Wiley” e guardadas em sacos de papel até a realização das análises químicas. As análises químicas foram realizadas em triplicata, sendo que a determinação das concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, foram realizadas de acordo com os métodos descritos por Bataglia et al. (1983).

O acúmulo de nutrientes em cada parte da planta foi calculado por meio da relação entre a concentração de cada nutriente nas mesmas pela matéria seca (MS) de cada parte (concentração do nutriente na parte x MS (g) / 1000) e, em seguida, transformados em kg por hectare.

O ajuste para os acúmulos de matéria seca e macronutrientes em função do tempo foram realizados por meio de modelos de regressão. Utilizou-se o programa Sigmaplot® 10.0, adotando-se a equação com maior coeficiente de determinação (R^2) que melhor representasse o fenômeno. Como houve padrões de acúmulo distintos, foi necessário a utilização de quatro modelos, sendo estes:

1) logístico com três parâmetros:

$$Y = \frac{a}{1 + e^{-\frac{(x-x_0)}{b}}}$$

Sendo, a = máximo assintótico; b = taxa de crescimento e x_0 = ponto de inflexão. Através desta, calculou-se as curvaturas mínima ($C_{\min}$) e máxima ($C_{\max}$) conforme o método citado por Venegas; Harris e Simon (1998), utilizando os parâmetros das equações não lineares: $C_{\min} = x_0 - 2b$ e $C_{\max} = x_0 + 2b$. A $C_{\min}$ indica o momento na curva de acúmulo em que se iniciam os acúmulos mais expressivos e a $C_{\max}$ o instante em que o acúmulo dos elementos começa a se estabilizar.

2) Gaussiano com três parâmetros:

$$Y = a e^{[-0,5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2]}$$

Onde, a = corresponde ao valor de máximo acúmulo; x_0 = corresponde ao valor de x , em DAE, que proporciona o máximo em y ; e b = corresponde à amplitude no valor de x , em DAE, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo.

3) Crescimento exponencial com três parâmetros:

$$Y = y_0 + a e^{bx}$$

Onde, y_0 = assíntota; a = amplitude de crescimento; x = dias após a emergência, e b = taxa de crescimento.

4) Para o acúmulo de nutrientes nas panículas e grãos utilizou-se regressão linear.

Decidiu-se por considerar a exportação de nutrientes levando-se em conta a colheita, apenas dos colmos e também, de colmos e grãos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o acúmulo de matéria seca total, foi possível ajustar para as cultivares CVSW80007 e CVSW80147 o modelo logístico (Figura 1-A, B), demonstrando que estas provavelmente tenham ciclo mais curto que as ‘CVSW82028’ e ‘CVSW82158’ (Figura 1-C, D), as quais ajustaram-se ao modelo de crescimento exponencial. É notável também que o acúmulo de matéria seca nas folhas das duas cultivares citadas primeiramente, começa a se estabilizar dias antes do que a cultivar CVSW82028 (Tabela 1), podendo-se ressaltar ainda que para a cultivar CVSW82158 o melhor modelo ajustado para o acúmulo neste órgão da planta foi o de crescimento exponencial (Figura 1-, D).

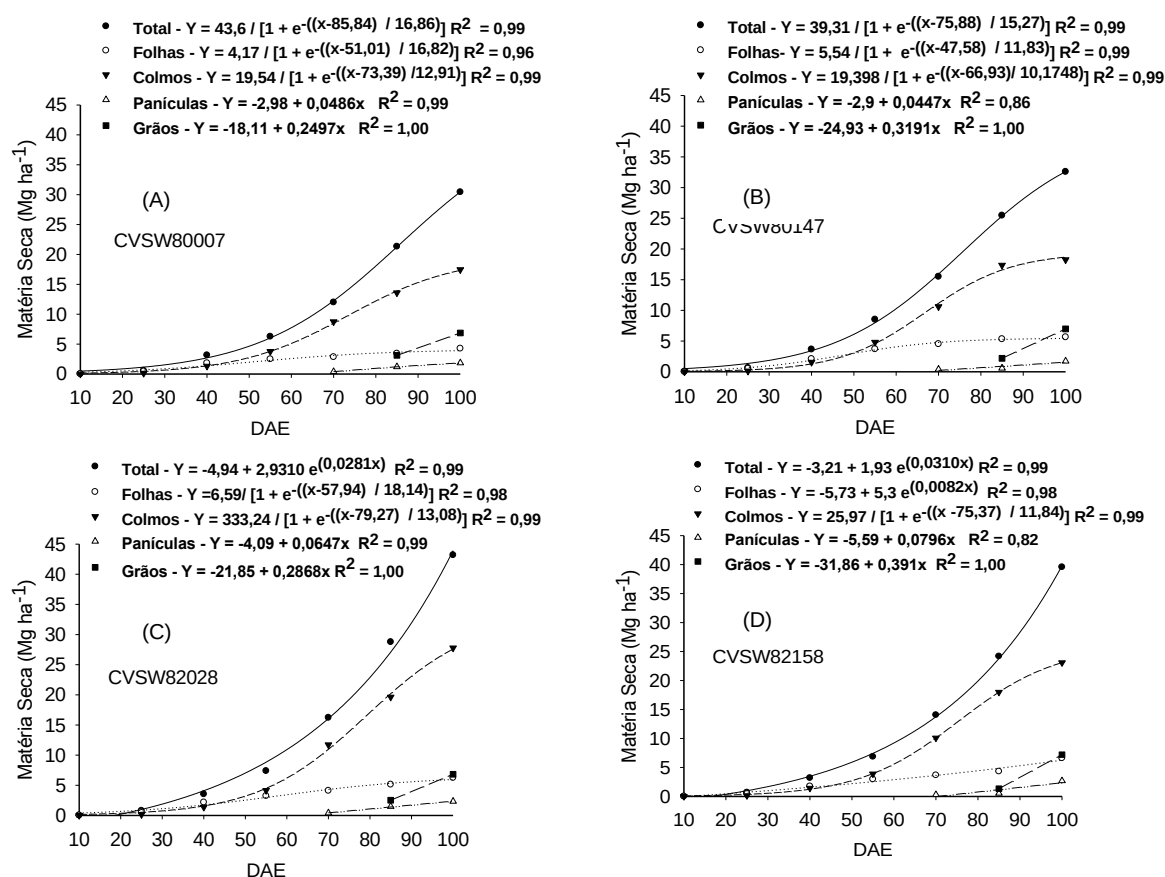


Figura 1. Acúmulo de matéria seca pelos híbridos de sorgo sacarino em função do tempo.

Tabela 1. Curvatura mínima e máxima para o acúmulo de matéria seca, nitrogênio, fósforo e potássio.

		Matéria seca		Nitrogênio		Fósforo		Potássio	
Cultivares		C _{min}	C _{max}	C _{min}	C _{max}	C _{min}	C _{max}	C _{min}	C _{max}
DAE									
CVSW80007	Total	52	-- ¹	33	--	42	90	22	93
	Folhas	17	85	19	53	--- ²	---	24	26
	Colmos	48	99	37	67	---	---	30	88
CVSW80147	Total	45	--	29	96	---	---	---	---
	Folhas	24	71	---	---	---	---	---	---
	Colmos	47	87	---	---	---	---	---	---
CVSW82028	Total	---	---	---	---	---	---	32	--
	Folhas	22	94	21	69	24	62	13	50
	Colmos	53	--	30	89	43	79	41	--
CVSW82158	Total	---	---	---	---	---	---	---	---
	Folhas	---	---	15	81	25	61	14	50
	Colmos	52	99	28	80	---	---	---	---

¹ A C_{max} calculado ficou acima de 100 DAE.

² Não foi possível calcular os C_{min} e C_{max}.

Os resultados obtidos para as cultivares CVSW80007, CVSW80147 e CVSW82158 (Tabela 1), no que diz respeito ao momento em que o acúmulo de matéria seca nos colmos começa a se estabilizar (C_{max}) corroborando com Klink (2012) sendo que este relata que a máxima produção de colmos pelas cultivares CVSW80007 e CVSW80147 é atingida aproximadamente aos 100 DAE.

A maior produção de biomassa seca foi obtida pelo híbrido CVSW82028 (Figura 1-C). Wortmann et al. (2010), trabalhando com diferentes cultivares, doses de N e densidade populacional, alcançaram produção de matéria seca de colmos de 48 Mg ha⁻¹. Monteiro, Havrland e Inanova (2012) relataram produtividades de matéria seca total em torno de 35 Mg ha⁻¹, ressaltando a importância do sorgo sacarino pela alta capacidade de produção de biomassa em um período curto de tempo (quatro meses). Já a matéria seca de grãos obtida pelas cultivares (em torno de 7 mg ha⁻¹ (Figura 1)) está acima do observado por Rosolem e Malavolta (1981a) que foi de 2,2 mg ha⁻¹ para

a variedade Rio e $2,5 \text{ mg ha}^{-1}$ para a Brandes. SINGH et al. (2012), observaram para as variedades M-81E e Dale, matéria seca de grãos de $2,33$ e $3,41 \text{ mg ha}^{-1}$, respectivamente. Desta forma pode-se constatar que, apesar da especialidade da planta ser a produção de colmos, os materiais híbridos estudados produzem também quantidades relevantes de grãos. Esse é um fator importante a ser levado em consideração, tendo em vista que o peso dos grãos pode favorecer o acamamento das plantas, pois, o sorgo sacarino é uma planta de porte alto podendo atingir de acordo com Monteiro; Havrland e Inanova (2012) mais de $3,5 \text{ m}$ de altura.

Em geral, os colmos corresponderam a 60% do total de matéria seca acumulada (Figura 2). Esses resultados são semelhantes aos observados por Rosolem e Malavolta (1981b). No entanto, em outros trabalhos (SINGH et al., 2012; MONTEIRO; HAVRLAND; INANOVA, 2012) os colmos representaram mais de 70% do total de biomassa seca produzida.

As curvas de acúmulo total de nitrogênio, fósforo e potássio, seguiram a mesma tendência que as de matéria seca (Figuras 3, 4 e 5). Deve-se ressaltar, entretanto, que o período crítico de acúmulo ($C_{\min}$ - $C_{\max}$) de N nas cultivares CVSW80007 e CVSW80147, e de K na 'CVSW80007' se iniciou mais cedo que o de matéria seca total (Tabela 1). A 'CVSW80147' é a única em que foi atingido o acúmulo máximo estimado de fósforo e potássio, tendo essa data ocorrido aproximadamente aos 90 DAE (Figura 4-B e 5-B). Isso demonstra que esta cultivar tem o ciclo mais curto do que a CVSW80007, o que pode ser reafirmado ao se observar que o início do período de maior incremento de matéria seca total (Tabela 1) e também o momento em que o acúmulo de matéria seca em folhas e colmos começa a se estabilizar, ocorreu dias antes na 'CVSW80147' (Tabela 1).

Em função da necessidade do parcelamento da adubação nitrogenada, devido a problemas de lixiviação e, considerando também o início do período de maior demanda de N (total) nas cultivares CVSW80007 e CVSW80147 (Tabela 1), pode-se sugerir que a adubação de cobertura com este nutriente seja realizada aproximadamente aos 20 DAE. Desta forma, haverá um intervalo de tempo para que o adubo aplicado passe pelo processo de mineralização, estando disponível quando iniciar o período de maior acúmulo de N pelas plantas.

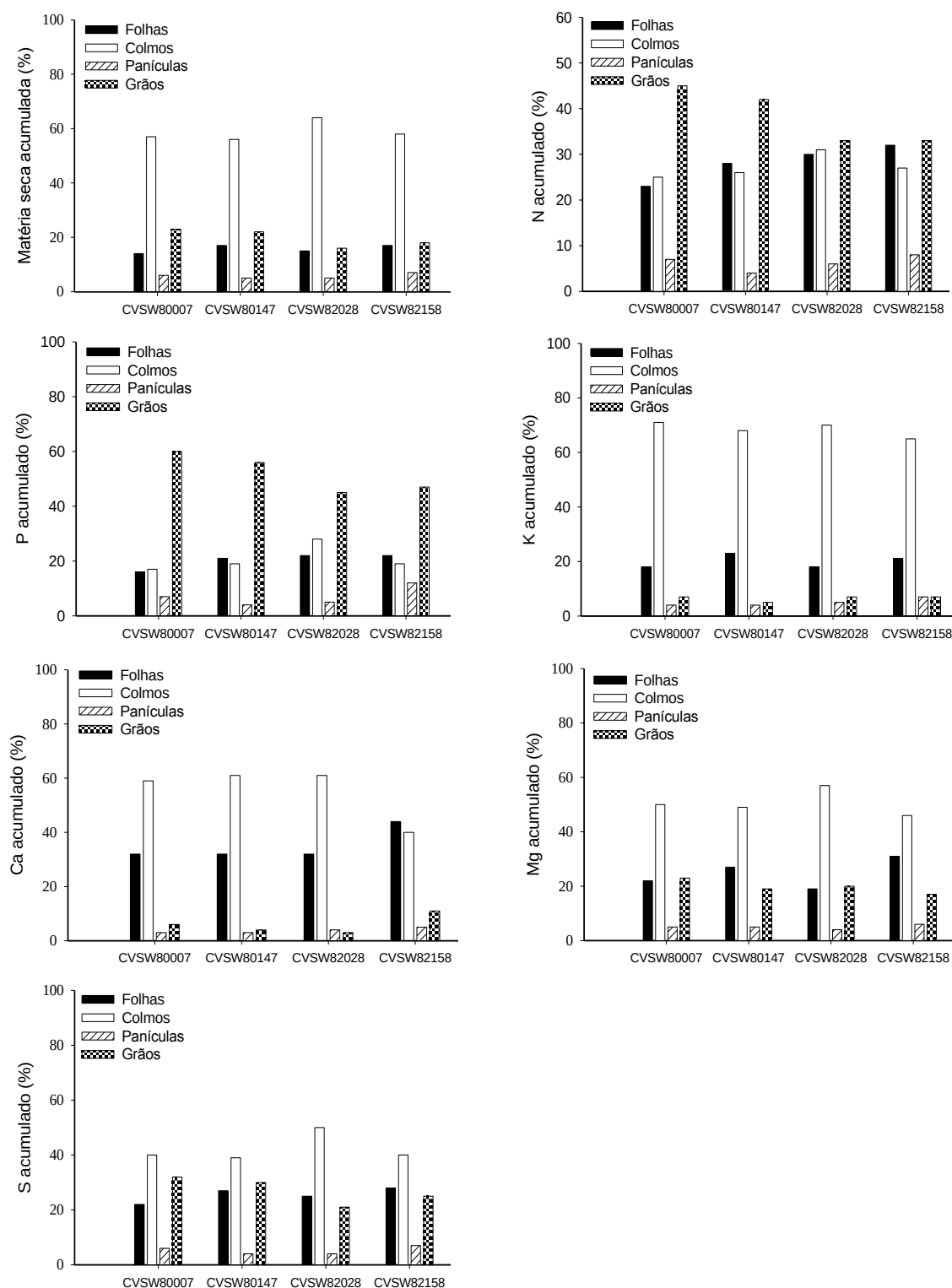


Figura 2. Partição de matéria seca e macronutrientes pelo sorgo sacarino aos 100 dias após a emergência.

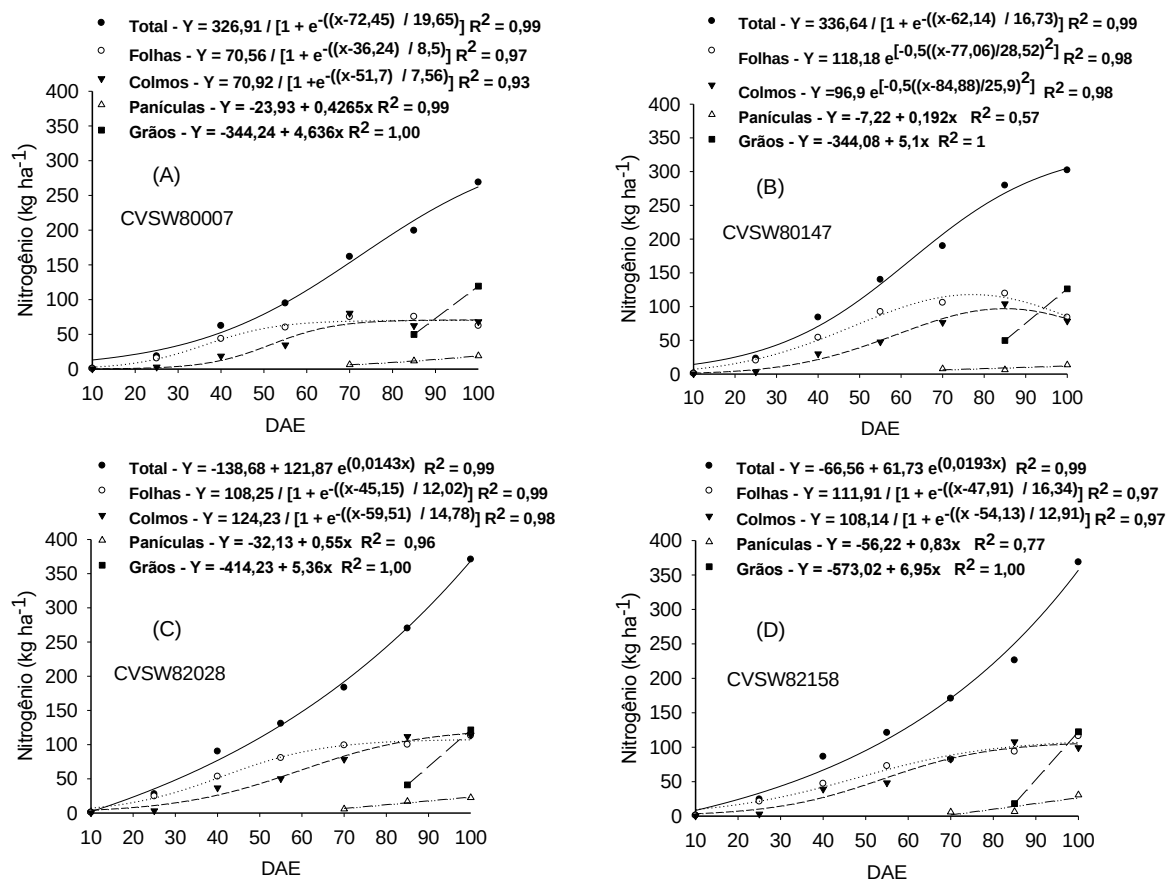


Figura 3. Acúmulo de nitrogênio pelos híbridos de sorgo sacarino em função do tempo.

Como a acumulação mais expressiva de potássio ocorre após os 20 DAE nas cultivares CVSW80007 e CVSW82028 e tomando por base que boa parte da adubação potássica também é realizada em cobertura, sugere-se que este seja aplicado juntamente com o nitrogênio, evitando maiores custos com outra aplicação.

Ainda quanto aos períodos de maior acúmulo de nitrogênio nas folhas e nos colmos, podemos observar que as cultivares CVSW82028 e CVSW82158 começam a estabilizar o acúmulo mais tardiamente (Tabela 1). É possível notar também que, na ‘CVSW80147’ ocorreu redistribuição de N das folhas e colmos para os grãos após 77 e 85 DAE, respectivamente (Figura 3-B).

Os híbridos CVSW82028 e CVSW82158 apresentaram comportamento similar em relação a acumulação de fósforo nas folhas (Figura 4-C, D). Nas ‘CVSW80007’ e ‘CVSW80147’, foi notada redistribuição de P das folhas e colmos para os grãos (Figura 4-A, B), já na ‘CVSW82158’ esta ocorre apenas dos colmos (Figura 4, D). Rosolem e

Malavolta (1981b), trabalhando com duas variedades de sorgo sacarino, observaram redistribuição de N e P das folhas e colmos para os grãos.

Pela figura 4-A nota-se que na cultivar CVSW80007 a acumulação de fósforo nos grãos teve início mais cedo, pois aos 85 DAE esta já tinha acumulado metade de todo o fósforo dos grãos, característica não observada nas outras cultivares. Esta cultivar apresentou esse mesmo comportamento quanto ao acúmulo de matéria seca nos grãos, demonstrando assim que o enchimento de grãos ocorreu mais precocemente na mesma.

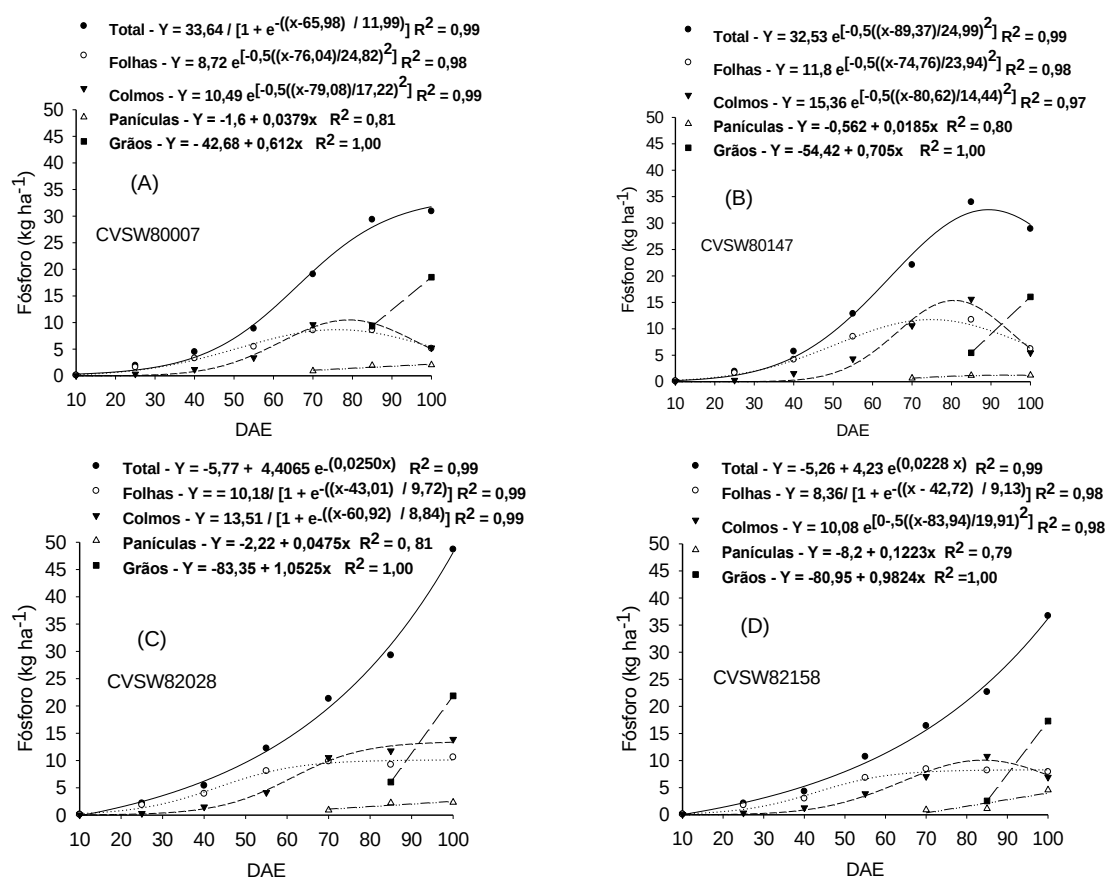


Figura 4. Acúmulo de fósforo pelos híbridos de sorgo sacarino em função do tempo.

Os grãos concentraram a maior parte da quantidade extraída de fósforo (Figura 2). No estudo de Rosolem e Malavolta (1981b) os grãos foram responsáveis pelo acúmulo de 42 e 53%, do total de P absorvido, respectivamente, para duas variedades. Entretanto, os híbridos testados neste trabalho demonstraram ter maior demanda de fósforo que as variedades avaliadas por Rosolem e Malavolta (1981b),

que acumularam 15 e 20 kg ha⁻¹ de P, respectivamente. Porém, assemelham-se aos totais acumulados relatados por Propheter e Staggenborg (2010) e Han et al. (2011) com 34 e 43 kg ha⁻¹ de P extraídos, respectivamente. Pode se dizer o mesmo sobre os acúmulos totais de K quando comparado aos trabalhos citados anteriormente.

Com o K, ocorreu redistribuição das folhas e colmos na cultivar CVSW80147 (Figura 5-B) e das folhas na 'CVSW82028' (Figura 5-C) que provavelmente tenha sido redirecionado para panículas e grãos, enquanto na 'CVSW80007' (Figura 5-A), há um intervalo de tempo muito pequeno entre o C_{min} e C_{max} determinados. Isso se deve ao fato de que esta cultivar acumula pouco K até os 20 DAE, havendo um rápido aumento na absorção e, logo em seguida, o acúmulo começa a estabilizar. Na cultivar CVSW82158 (Figura 5-D), expressivos acúmulos de potássio nos colmos foram observados até os 100 DAE. Entretanto, na 'CVSW80007' o acúmulo permanece estável após os 88 DAE (Figura 5-A).

O total de N absorvido pelos híbridos de sorgo sacarino (Figura 3) é superior ao observado por Singh et al. (2012) que foi de 136 kg ha⁻¹ e por Propheter e Staggenborg (2010) de 190 kg ha⁻¹. As cultivares CVSW80007 e CVSW80147, apesar da menor quantidade de matéria seca total produzida, acumularam nos grãos quantidades de N semelhantes às outras (Figura 3). Nesse sentido, o percentual de acúmulo nos grãos foi bem maior nestas cultivares, ao passo que para as outras duas, mesmo os grãos tendo alocado a maior quantidade de N, houve maior equilíbrio na distribuição deste para os órgãos folhas, colmos e grãos, pois estas obtiveram percentuais de acúmulos semelhantes (em torno de 30%) (Figura 2). Esta característica observada de maior acúmulo de nitrogênio nos grãos dos híbridos é distinta das variedades estudadas por Rosolem e Malavolta (1981b) sendo que a maior parte do N ficou concentrada nos colmos.

Todas as cultivares apresentaram curvas de acúmulo de Ca semelhantes tanto para o total, como nos colmos (Figura 6). Já nas folhas, a cultivar CVSW82158 (Figura 6-D), da mesma forma que com a matéria seca (Figura 1-D), foi a única que se ajustou a um modelo de curva de crescimento exponencial. Com o Mg, o acúmulo máximo estimado (total) foi alcançado aos 85 DAE pela cultivar CVSW80147 (Figura 7-B). Nesta cultivar foi observado redistribuição de Mg de colmos e folhas para os grãos e na 'CVSW82028' (Figura 7-C) apenas das folhas para os grãos. O período crítico de

acúmulo nas folhas da cultivar CVSW82158 estendeu-se dos 30 até 94 DAE (Tabela 2).

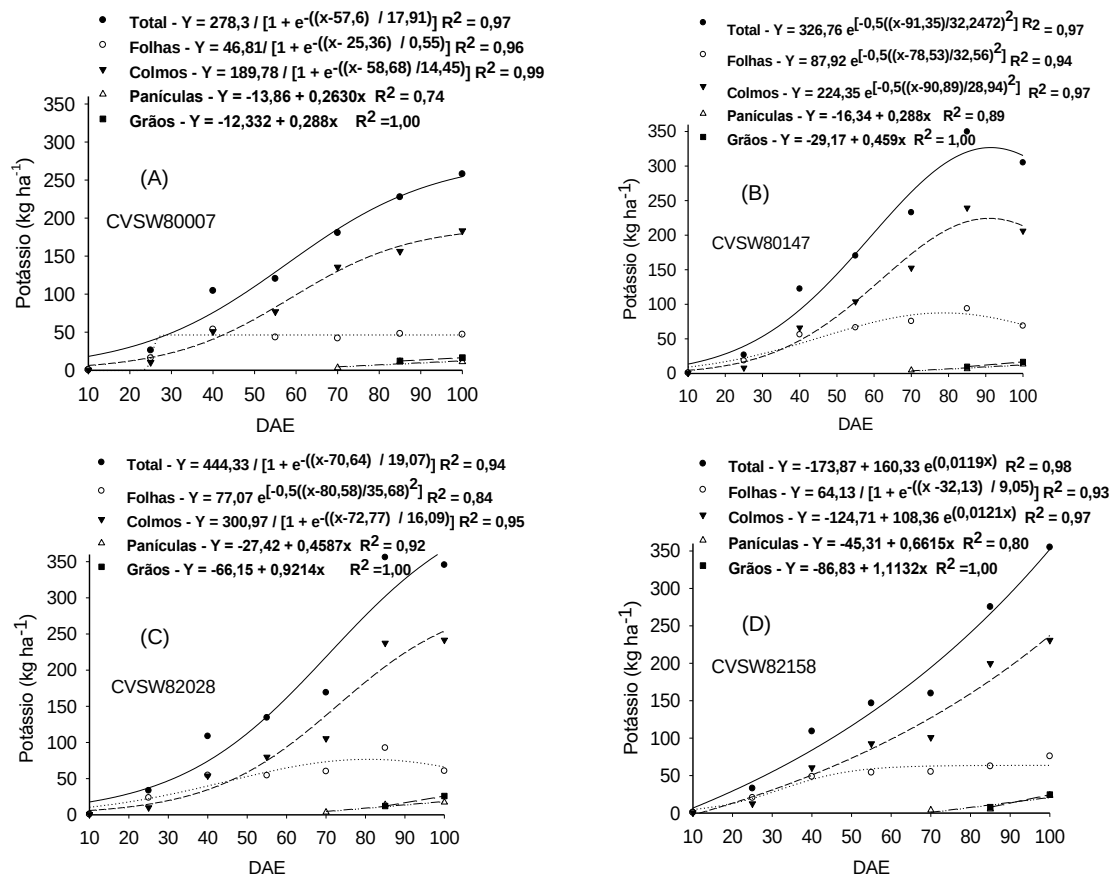


Figura 5. Acúmulo de potássio pelos híbridos de sorgo sacarino em função do tempo.

O sorgo sacarino acumulou quantidades de Ca menores do que a observada por Franco (2011) para um híbrido de sorgo forrageiro que acumulou 104 kg ha^{-1} de Ca.

Rosolem e Malavolta (1981b) relataram que, apesar das quantidades acumuladas de Ca e Mg e também a partição nas diferentes partes da planta terem sido diferentes, as curvas de acúmulo em função da idade da planta de sorgo sacarino foram bastante parecidas para estes dois nutrientes, já neste experimento ocorreu exatamente o contrário, pois, os padrões de acúmulo de cálcio e magnésio foram bastante distintos como pode ser observado nas Figuras 6 e 7.

Os padrões de acúmulo total de S (Figura 8) foram similares ao de matéria seca (Figura 1), ocorrendo nas folhas as mesmas tendências observadas para o N (Figura 3 e Tabela 2). Nos colmos, os incrementos foram mais acentuados nas cultivares CVSW82028 e CVSW82158 até os 100 DAE (Figura 8-C, D).

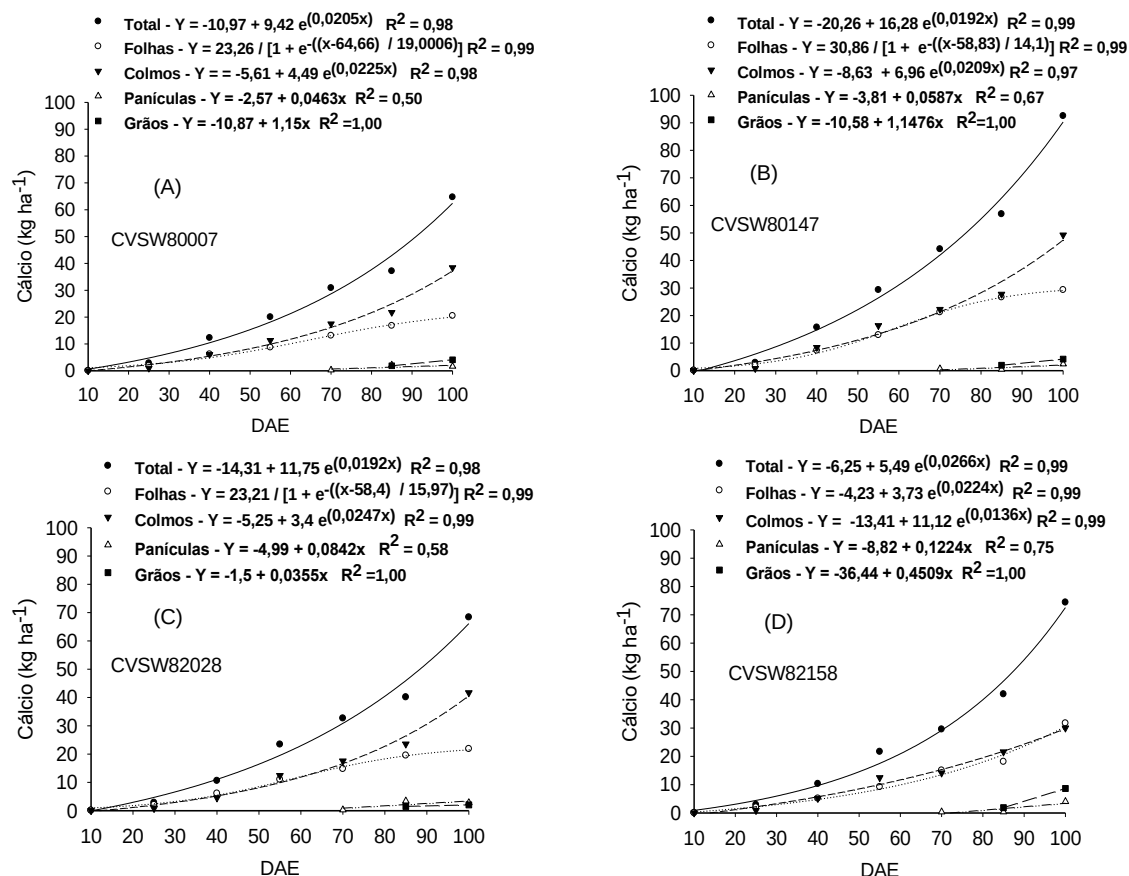


Figura 6. Acúmulo de cálcio pelos híbridos de sorgo sacarino em função do tempo.

As quantidades acumuladas de S pelos híbridos CVSW80007 e CVSW80147 (Figura 8-A, B) assemelham-se ao obtido pelo sorgo forrageiro e granífero (FRANCO, 2011), enquanto que as cultivares CVSW82028 e CVSW82158 acumularam mais S do que o observado por aquele autor. Pode-se dizer ainda que, o sorgo sacarino absorve quantidades de S semelhantes a outras culturas como o milho. Nesta cultura, por exemplo, Von Pinho et al. (2009) verificaram para dois híbridos acúmulos de 22 e 34 kg ha⁻¹ de S.

A cultivar CVSW82028 foi responsável pelos maiores acúmulos totais de N, P, Mg e S, enquanto a 'CVSW82158' acumulou a maior quantidade de K e a 'CVSW80147,' absorveu a maior quantidade de Ca.

A maior parte do K, Ca, Mg e S absorvidos ficaram alocados nos colmos (Figura 2), com exceção da cultivar CVSW82158, que concentraram a maior parte de Ca nas folhas. Como no sorgo sacarino, o produto colhido é o colmo, a maior parte dos nutrientes extraídos é então exportada. Os híbridos de sorgo sacarino demonstraram extrair altas quantidades de macronutrientes do solo, sendo as quantidades acumuladas de N e P maiores que o relatado para cana-de-açúcar (cana-planta) por Oliveira et al. (2011). Como são duas culturas que estarão inseridas no mesmo sistema de produção, com alta exigência nutricional, a reposição dos nutrientes através da adubação é extremamente importante.

Tabela 2. Curvatura mínima e máxima para o acúmulo de cálcio, magnésio e enxofre.

		Cálcio		Magnésio		Enxofre	
Cultivares		C _{min}	C _{max}	C _{min}	C _{max}	C _{min}	C _{max}
DAE							
CVSW80007	Total	--- ¹	---	36	80	37	-- ²
	Folhas	27	--	27	65	15	57
	Colmos	---	---	39	68	36	81
CVSW80147	Total	---	---	---	---	32	94
	Folhas	31	87	---	---	---	---
	Colmos	---	---	---	---	40	77
CVSW82028	Total	---	---	35	88	---	---
	Folhas	26	90	---	---	17	74
	Colmos	---	---	34	83	---	---
CVSW82158	Total	---	---	37	--	---	---
	Folhas	---	---	30	94	14	77
	Colmos	---	---	36	78	43	--

¹ Não foi possível calcular as C_{min} e C_{max}.

² A C_{max} calculado ficou acima de 100 DAE.

Foi observada a mesma ordem decrescente de extração de macronutrientes para as cultivares CVSW80007, CSVW82028 e CVSW82158, sendo esta: $N > K > Ca > Mg > P > S$, e, na 'CVSW80147': $K > N > Ca > Mg > P > S$ (Tabela 3). Deve-se ressaltar, no entanto, que, em geral as quantidades extraídas de N e K pelas cultivares foram similares. No experimento de Rosolem e Malavolta (1981a), a ordem de extração de macronutrientes relatada foi a mesma que a obtida pela cultivar CVSW80147 neste experimento. Franco (2011), relatou a sequência $K > N > Ca > P > Mg > S$ para um híbrido de sorgo forrageiro e $N > K > Ca > P > Mg > S$ para o sorgo granífero.

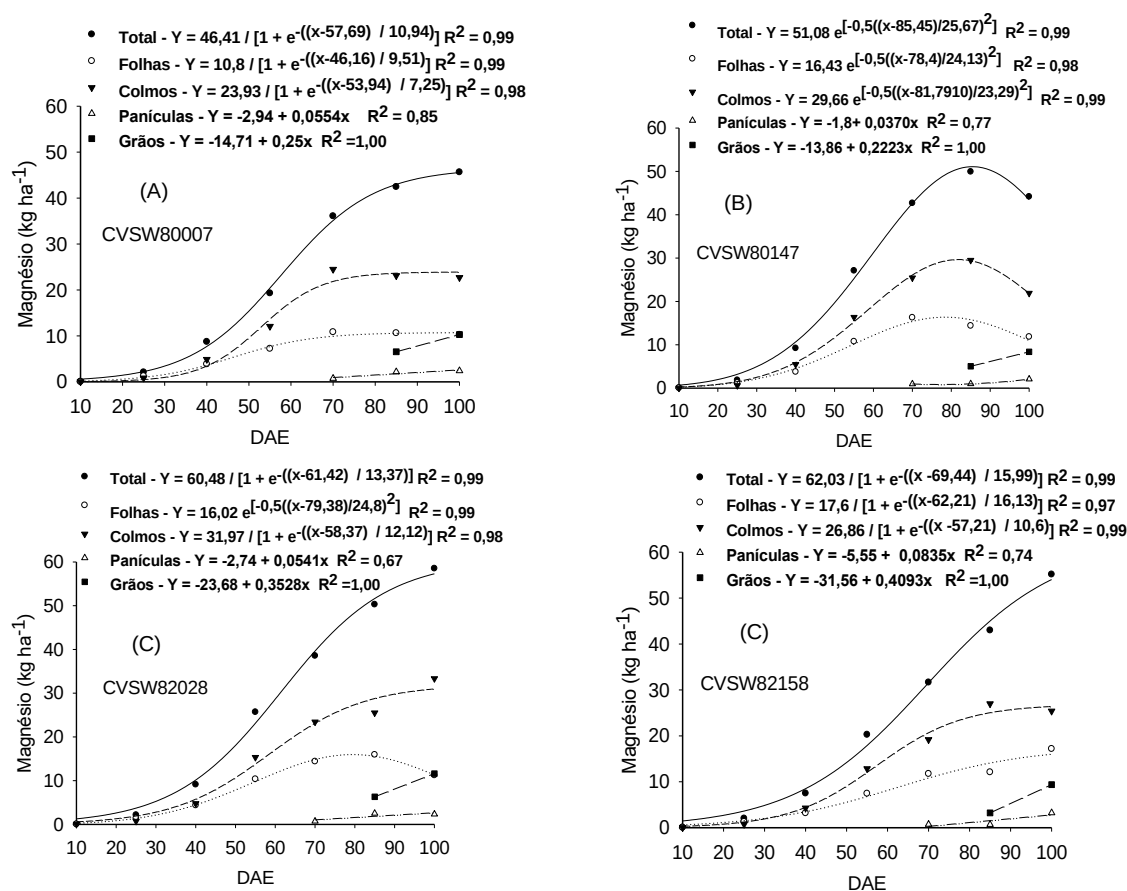


Figura 7. Acúmulo de magnésio pelos híbridos de sorgo sacarino em função do tempo.

A ordem decrescente de exportação de nutrientes, considerando somente os colmos, para todas as cultivares, foi $K > N > Ca > Mg > S > P$. Quando considerando colmo e grão dá-se a sequência $K > N > Ca > Mg > P > S$ para as cultivares CVSW80007, CVSW80147 e CVSW82158 e $K > N > Mg > Ca > P > S$ para a 'CVSW82028' (Tabela 3). A grande diferença quando se considera a colheita dos colmos e grãos são as maiores

quantidades exportadas de nutrientes, principalmente N e P, que poderiam retornar ao solo através da mineralização dos restos culturais. No caso do P, este aumento chega a 380% para a cultivar CVSW80007. Para o N, no geral, há um aumento de mais de 100% na quantidade exportada.

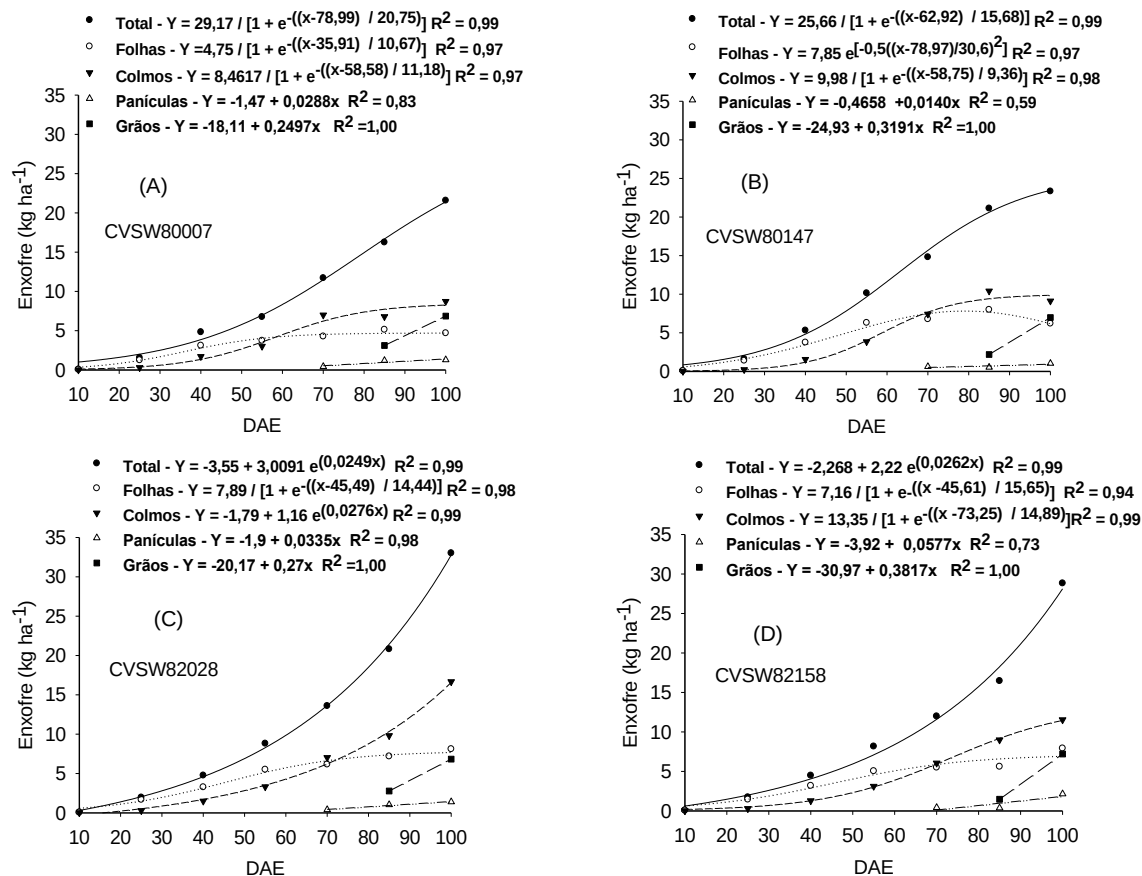


Figura 8. Acúmulo de enxofre pelos híbridos de sorgo sacarino em função do tempo.

Tabela 3. Acúmulo total e exportação de macronutrientes por cultivares de sorgo sacarino.

Acúmulo total						
Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	S
kg ha ⁻¹						
CVSW80007	269	31	258	65	46	22
CVSW80147	302	29	305	92	44	23
CVSW82028	371	49	346	68	59	33
CVSW82158	369	37	355	76	55	29
Exportação (colmos)						
Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	S
kg ha ⁻¹						
CVSW80007	68	5	183	38	23	9
CVSW80147	78	5	206	57	22	9
CVSW82028	114	14	242	42	33	17
CVSW82158	99	7	231	30	25	12
Exportação (colmos + grãos)						
Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	S
kg ha ⁻¹						
CVSW80007	187	24	199	42	33	16
CVSW80147	204	21	223	61	30	16
CVSW82028	236	36	268	44	45	24
CVSW82158	221	24	255	39	34	19

5. CONCLUSÃO

O maior conteúdo de matéria seca, N, P, Mg e S é acumulado pela cultivar CVSW82028, enquanto a 'CVSW82158' extrai a maior quantidade de K e a 'CVSW80147,' de Ca.

Os colmos representaram o maior percentual de matéria seca e nutrientes do total acumulado, com exceção do nitrogênio e do fósforo, em que os grãos corresponderam a maior porcentagem do total absorvido.

As cultivares CVSW80007, CVSW82158 e CVSW82028 apresentaram a seguinte sequência decrescente de extração de nutrientes: $N > K > Ca > Mg > P > S$ e a cultivar CVSW80147 $K > N > Ca > Mg > P > S$.

Considerando a colheita apenas dos colmos, a ordem decrescente de exportação de nutrientes é a mesma para todas as cultivares ($K > N > Ca > Mg > S > P$).

A sequência decrescente de exportação de nutrientes considerando a colheita de colmos e grãos é: $K > N > Ca > Mg > P > S$ para as cultivares CVSW80007, CVSW80147 e CVSW82158 e $K > N > Mg > Ca > P > S$ para a cultivar CVSW82028.

6. REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R. DE C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. D.; ALVAREZ, A. C. C. Marcha de absorção de nitrogênio de cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 162-169, 2005.

AMADUCCI, S.; MONTI, A.; VENTURI, V. Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 111-118, 2004. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.12.016> >.

BARBANTI, L.; GRANDI, S.; VECCHI, A.; VENTURI, G. Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.25 n.1, p. 30-39, 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2006.03.001> >.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48p. (Boletim Técnico o, 78).

BLOTTNITZ, H. von., CURRAN, M. A. A Review of assessments conducted on bioethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 15, n. 7, p. 607-619, 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.03.002> >.

BRASIL. **Balanço Energético Nacional 2012 – Ano base 2011: Resultados Preliminares**. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: < https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf >. Acesso em: 22 abr. 2013.

BROADHEAD, M.; DEMPSEY, M. Sugar production from sweet sorghum as affected by planting date, after-ripe harvesting, and storage. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, p.811-812, 1969.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. L. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 2009. 77p. (Boletim Técnico, 106).

CORREDOR, D. Y.; SALAZAR, J. M.; HOHN, K.L.; BEAN, S.; BEAN, B.; WANG, D. Evaluation and characterization of forage sorghum as feedstock for fermentable sugar

production. **Biotechnology and applied biochemistry**, San Diego, v. 158, p. 164–179, 2009. Disponível em: < doi: 10.1007/s12010-008-8340-y. >.

COUTINHO, E. L. M.; NEPTUNE, A. M. L.; SOUZA, E. C. A. de; GIMENEZ, J. D.; NATALE, W.; BANZATTO, D. A. Diagnose da nutrição fosfatada na cultura do sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 5, p. 451-457, 1987.

COWLEY, W. R. Sweet sorghum in south texas: yield potenciales and cultural practices. **Journal of Rio Grande Valley Horticultural Society**, Weslaco, v. 23, p. 157-162, 1969.

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

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006, 306p.

ERICKSON, J. E.; HELSEL, Z. R.; WOODARD, K. R.; VENDRAMINI, J. M. B.; WANG, Y.; SOLLENBERGER, L. E.; GILBERT, R. A. Planting date affects biomass and brix of sweet sorghum grown for biofuel across Florida. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 6, p. 1827-1833, 2011. Disponível em: < doi: 10.2134/agronj2011.0176 >.

FAO. **Sweet sorgho in china**. Spotlight/2002 Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2002.

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011, 78f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

GENG, S.; HILLS, F. J.; JOHNSON, S. S.; SAH, R. N. Potential yields and on-farm ethanol production cost of corn, sweet sorghum, fodderbeet, and sugarbeet. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 162, n.1, p. 21–29, Jan, 1989.

GLASS, A. D. M. **Plant nutrition: an introduction to current concepts**. Boston: Jones and Bartlett, 1989. 234 p.

GOFF, B. M.; MOORE, K. J.; FALES, S. L.; HEATON, E. A. Double-cropping sorghum for biomass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 6, p. 1586-1592, 2010. Disponível em: < doi:10.2134/agronj2010.0209 >.

GOTO, R.; GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. de M. Aspectos fisiológicos e nutricionais no crescimento e desenvolvimento de plantas hortícolas. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C. do; RESENDE, R. S. (Coord.) **Fertirrigação: flores, frutas e hortalças**. Guaíba: Agropecuária, 2001, v.2, p.241 – 268.

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**, Amsterdam, v. 120, n. 2, p. 230-40, 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.007> >.

KLINK, U. P. **Melhoramento genético do sorgo para a produção de etanol**. Simpósio de Agroenergia-Embrapa Clima Temperado. 2010. Disponível em:<http://www.cpact.embrapa.br/eventos/2010/simposio_agroenergia/palestras.php>. Acesso em: 16 mai. 2012.

LI, B. Z.; BALAN, V.; YUAN, Y. J.; DALE, B. E. Process optimization to convert forage and sweet sorghum bagasse to ethanol based on ammonia fiber expansion (AFEX) pretreatment. **Bioresource Technology**, Essex, v.101, n.4, p. 1285–1292, 2010. Disponível em: < doi: 10.1016/j.biortech.2009.09.044. >.

LOURENÇO, M. E. V.; MASSA, V. M. L.; PALMA, P. M. M.; RATO, A. E. M. Potencialidades do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção sustentável de bioetanol no Alentejo. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 1, p. 103-110, 2007.

MACHADO, C. M. M. Produção de etanol de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 26-27, 2011.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano nacional de agroenergia 2006-2011**. 2. ed. rev. - Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

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

MARCOCCIA, R. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial**. 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARTÍNEZ-PÉREZ, N.; CHERRYMAN, S. J.; PREMIER, C. G.; DINSDALE, R. M.; HAWKES, D. L.; HAWKES, F. R. The potential for hydrogen-enriched biogas production from crops: scenarios in the UK. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.31, p. 95–104, 2007. Disponível em: < [tp://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.07.003](http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.07.003) >.

MONTEIRO, J. S. T.; HAVRLAND, B.; INANOVA, T. Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) bioenergy value – importance for Portugal. **Agricultura Tropica et Subtropica**, Suchdol, v. 45, n. 1, p. 12-19, 2012. Disponível em: < DOI: 102478/v10295-012-0002-Y >.

MONTI A., VENTURI G. Comparison of energy performance of fibre sorghum, sweet sorghum and wheat monocultures in northern Italy. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 35-43, 2003. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00017-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00017-5) >.

OLIVEIRA, E. C. A. de.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I. de.; OLIVEIRA, A. C. de.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 579-588, 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000300002> >.

PARELLA, A. da C.; MENEGUCI, J. L. P.; RIBEIRO, A.; SILVA, A. R.; PARELLA, N. N. D.; RODRIGUES, J. A. dos S.; TARDIN, F. D.; SCHAFFERT, R. E. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diferentes ambientes visando a produção de etanol. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Anais...** Goiânia, Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.

PRASAD, S.; SINGH, A.; JAIN, N.; JOSHI, H. C. Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. **Energy & Fuels, Washington**, v. 21, n. 4, p. 2415–2420, 2007. Disponível em: < DOI: 10.1021/ef060328z >.

PROPHETER, J. L.; STAGGENBORG, S. A. Performance of annual and perennial biofuel crops: nutrient removals during the first two years. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 2, p. 798-805, 2010. Disponível em: < doi: 10.2134/agronj2009.0462 >.

PUTNAM, D. H.; WILLIAM, E. L.; BRIAN, K. K.; THOMAS, R. H. A comparison of sweet sorghum cultivars and maize for ethanol production. **Production Agriculture Journal**, v.4, n.3, p.377–381, 1991.

RAIJ, B. van. ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (eds). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.

ROONEY, W. L., BLUMENTHAL, J., BEAN, B., MULLET, J. E. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Nova Jersey, v. 1, n. 2, p. 147-157, 2007. Disponível em: < DOI: 10.1002/bbb.15 >.

ROSOLEM, C. A. **Contribuição ao estudo da nutrição mineral e adubação do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]**. 1979, 136 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

ROSOLEM, C. A.; MALAVOLTA, E. Exigências nutricionais do sorgo sacarino. **Anais Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 38, n. 1, p. 257-268, 1981(a).

ROSOLEM, C. A.; MALAVOLTA, E. Acumulação de matéria seca e macronutrientes pelo sorgo sacarino. **Anais Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 38, n. 1, p. 223-241, 1981(b). Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0071-12761981000100018> >.

SERRA, G. E. Algumas considerações sobre as possibilidades de matérias-primas para produção de álcool etílico. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 87, p. 44-71, 1976.

SILVA, J. G.; SERRA, G. E.; MOREIRA, J.R.; GONÇALVES, J. C. Balanço energético cultural da produção de álcool etílico de cana-de-açúcar, mandioca e sorgo sacarino-fase agrícola e industrial. **Brasil açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 88, n. 6, p. 8-21, 1976.

SINGH, M. P.; ERICKSON, J. E.; SOLLENBERGER, L. E.; WOODARD, K. R.; VENDRAMINI, J. M. B.; FEDENRO, J. R. Mineral composition and biomass partitioning of sweet sorghum grown for bioenergy in the southeastern USA. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 47, n. 1, p. 1-8, 2012. Disponível em: < DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.10.022 >.

SOUZA, V. F. de. **Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino**. 2011. 63 f. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal). Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

TEIXEIRA, C. G.; JARDINE, J. G.; NICOLELLA, G.; ZARONI, M. H. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p.1601-1606, 1999. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900010> >.

UNICA-UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Os desafios do setor sucroenergético e o “movimento + etanol”**. Disponível em: http://www.fiesp.com.br/irs/agronegocio/pdf/transparencias_reuniao_cosag_06_02_12_-_marcos_jank_-_20120206_cosag_jank-unica.pdf. Acesso em: 10 mai. 2012.

ÚNICA-UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Produção e uso de etanol biocombustível no brasil: respostas às questões mais frequentes**. Disponível em: < http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/etanol/producao_etanol_unica.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2013.

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

VENTURI, P.; VENTURI, G. Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 235-255, Sept. 2003. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00015-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00015-1) >.

VERMERRIS, W.; ERICKSON, J.; WRIGHT, D.; NEWMAN, Y.; RAINBOLT, C. **Production of biofuel crops in Flórida: Sweet sorghum**. Disponível em:< <http://edis.ifas.ufl.edu/ag298>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. de A. R.; REIS, M. C. dos. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.8, n. 2, p. 157-173, 2009.

WANG, F.; LIU, C. Development of an economic refining strategy of Sweet sorghum in the Inner Mongolia Region of China. **Energy & Fuels, Washington**, v.23, p.4137–4142, 2009. Disponível em: < DOI: 10.1021/ef900317s >.

WORTMANN, C. S.; LISKA, A.; FERGUSON, R. B.; LYON, D. J.; KLEIN, R. N. Dryland performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel in Nebraska. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 1, p. 319–326, 2010. Disponível em: < [doi:10.2134/agronj2009.0271](http://dx.doi.org/10.2134/agronj2009.0271) >.

WU, X. R.; STAGGENBORG, S.; PROPHETER, J. L.; ROONEY, W. L.; YU, J. M.; WANG, H. Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.31, n.1, p. 164–170, 2010. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.10.006> >.

ZHAO, Y. L.; DOLAT, A.; STEINBERGER, Y.; WANG, X.; OSMAN, A.; XIE, G. H. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.111, n. 1, p. 55-64, 2009. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.006> >.