



JÚNIA DE PAULA LARA

**DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL E FORRAGEIRO DO SORGO
SACARINO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E
POTÁSSICA**

**SETE LAGOAS
2016**

JÚNIA DE PAULA LARA

**DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL E FORRAGEIRO DO SORGO
SACARINO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E
POTÁSSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Iran Dias Borges

Coorientadores:

Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella

Dra. Flavia Cristina dos Santos

SETE LAGOAS

2016

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L318d LARA, JÚNIA DE PAULA .
DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL E FORRAGEIRO DO SORGO
SACARINO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E
POTÁSSICA / JÚNIA DE PAULA LARA ; orientador Iran
Dias Borges; coorientador Rafael Augusto da Costa
Parrella. -- Sete Lagoas, 2016.
58 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São
João del-Rei, 2016.

1. Sorghum bicolor L. Moench. 2. Sorgo sacarino.
3. Forragem. 4. Etanol. I. Borges, Iran Dias ,
orient. II. Parrella, Rafael Augusto da Costa , co
orient. III. Título.

JÚNIA DE PAULA LARA

**DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL E FORRAGEIRO DO SORGO
SACARINO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E
POTÁSSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Iran Dias Borges
Coorientadores:
Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella
Dra. Flávia Cristina dos Santos

Sete Lagoas, 1º de agosto de 2016.

Banca examinadora:

Dr. Paulo César Magalhães – Embrapa Milho e Sorgo

Dr. Renzo Garcia Von Pinho – UFLA

Prof. Dr. Iran Dias Borges - UFSJ
Orientador

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JÚNIA DE PAULA LARA - Filha de Antônio de Paula Lara e Mônica de Resende Lara, nasceu em 3 de novembro de 1988, na cidade de Sete Lagoas, MG.

Em julho de 2011, concluiu o curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, MG.

Em agosto de 2014, ingressou no curso de mestrado em Ciências Agrárias, concentração Produção Vegetal, na Universidade Federal de São João del-Rei, submetendo-se à defesa da dissertação em 1º de agosto de 2016.

Aos meus pais,
pelo amor, apoio e dedicação em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu guia e estar presente em todos os momentos, iluminando meus caminhos.

Ao Robson pela compreensão e entendimento durante todo o Mestrado.

À Evelin e Yesenia, pelo enorme incentivo e amizade, estando sempre ao meu lado para o que der e vier.

Ao Carlos Eduardo, Pedro e Renata, pela amizade e ajuda nas horas mais difíceis durante o experimento.

Ao Carlos Henrique, Rafael Miguel e Fabiane, pela ajuda em laboratório e pelo enriquecimento na vida profissional e pessoal.

À Rafaela, Edislane e Letícia pela amizade e ajuda essencial na condução dos dados em laboratório.

À Ana Lúcia, pela amizade e pela ajuda ofertada durante a fase final do trabalho,

À Universidade Federal de São João del-Rei, em especial ao Programa de Pós-Graduação pela oportunidade de realização do mestrado e pelo crescimento profissional,

Ao Prof. Dr. Iran Dias Borges, pelos ensinamentos acadêmicos, críticas, sugestões, orientação e confiança no desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários da manutenção da UFSJ pela colaboração e empenho na condução do experimento desde o plantio até a colheita,

A Embrapa Milho e Sorgo, por ceder as estruturas para a realização das análises laboratoriais.

Aos Pesquisadores da Embrapa Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella e Dra. Flávia Cristina dos Santos pela coorientação, apoio, incentivo, críticas construtivas e sugestões valiosas na defesa de qualificação.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	II
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	6
ARTIGO 1	9
DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL DO SORGO SACARINO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO EM COBERTURA.....	9
INTRODUÇÃO	10
MATERIAL E MÉTODOS	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS	30
ARTIGO 2.....	34
DESEMPENHO FORRAGEIRO DO SORGO SACARINO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO EM COBERTURA.....	34
INTRODUÇÃO	35
MATERIAL E MÉTODOS	37
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
REFERÊNCIAS	51
CONSIDERAÇÕES FINAIS	56

INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA EM COBERTURA NO DESEMPENHO DE SORGO SACARINO

RESUMO

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) se destaca na produção agrícola do Brasil com grande importância na alimentação animal e, recentemente, o sorgo sacarino vem se destacando como fonte de matéria-prima para produção de biocombustíveis. Entretanto, a alta produção de etanol é dependente da produtividade da cultura, que por sua vez se torna dependente do fornecimento de nutrientes em quantidades adequadas. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agroindustrial e forrageiro do sorgo sacarino BRS 511 em diferentes doses de nitrogênio e de potássio em cobertura na região Central de Minas Gerais. O experimento foi instalado no período primavera-verão de 2014/2015 em área experimental da Universidade Federal de São João del-Rei, no Campus de Sete Lagoas, MG. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com 3 repetições, e tratamentos dispostos em esquema fatorial 4 x 4, sendo 4 doses de nitrogênio (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹) x 4 doses de potássio (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), em cobertura. As características avaliadas foram: florescimento, altura de plantas, diâmetro de colmo, extração de caldo, massa verde, massa seca a 65 °C e a 105 °C, massa seca total sólidos solúveis totais, toneladas de Brix por hectare, teor de sacarose, açúcares redutores totais, litros de etanol por hectare, litros de etanol por tonelada de biomassa, rendimento de massa seca, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, lignina, proteína bruta, conteúdo celular. O melhor desempenho em litros de etanol e toneladas de Brix por hectare, litros de etanol por tonelada de biomassa, teor de sacarose e açúcar redutor total ocorreu com uso de doses altas de N e K₂O em cobertura (cerca de 120 e 130 kg ha⁻¹, respectivamente), sendo que a resposta à adubação nitrogenada é mais significativa do que à potássica. A produção de massa verde e seca é influenciada pela adubação. A massa seca total cresceu linearmente com o aumento da dose de K₂O em cobertura e o rendimento de massa seca cresceu linearmente com o aumento da dose de N em cobertura.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* L. Moench. Sorgo sacarino. Forragem. Etanol.

INFLUENCE OF NITROGEN AND POTASSIUM FERTILIZATION IN COVERAGE IN SORGHUM SACCHARINE PERFORMANCE

ABSTRACT

The sorghum crop (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is, in agricultural production in Brazil, of great importance in animal feed, but recently the sorghum has been highlighted as a source of raw material for biofuel production. However, the high ethanol production is dependent on the crop yield, which in turn becomes dependent on the supply of nutrients in adequate amounts. Thus, the objective of this study was to evaluate the agro-industrial and forage sorghum saccharine performance BRS 511 at different doses of nitrogen and potassium in coverage in the Central region of the State of Minas Gerais. The experiment was installed in the spring-summer period of 2014/2015 season in the experimental area of the Federal University of Sao Joao del-Rei, at the campus of Sete Lagoas-MG. The design was a randomized block design with three replications and treatments arranged in a factorial 4 x 4, with four nitrogen rates (45, 90, 135 and 180 kg ha⁻¹) x 4 potassium doses (50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹). The characteristics evaluated were: flowering, plant height, stem diameter, juice extraction, the total green mass, dry matter, total soluble solids, tons of Brix per hectare, sugar content, total reducing sugars, liters of ethanol per hectare, liters of ethanol per ton of biomass, total dry weight, dry matter yield, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, lignin, protein, cellular content. The best performance in liters of ethanol and tons of Brix per hectare liters of ethanol per ton of biomass, sugar content and sugar total reducing occurred with high doses of N and K₂O in coverage (up to 120 and 130 kg ha⁻¹, respectively), whereas the response to fertilization with N is made more significant than with K₂O. Regarding the performance of forage, it is, quantitatively and qualitatively, an excellent alternative forage crop in regions at risk of drought in the vegetative stage. The forage mass production and green forage dry matter (DM, MST and REND MS) are influenced by fertilization. The total dry weight increases linearly with increasing dose K₂O cover and the dry matter yield increases linearly with increasing N rate coverage

Key-words: *Sorghum bicolor* L. Moench. Sweet sorghum. Forage sorghum. Forage. Ethanol.

INTRODUÇÃO GERAL

A planta de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) pertence à família Poaceae do gênero *Sorghum*, e é originária do continente africano. Porém, algumas evidências indicam que a cultura pode ter se dispersado de outras regiões independentemente. Embora seja uma cultura muito antiga, sua expansão se deu somente no final do século XIX.

A classificação do sorgo é diversificada e abrange cinco tipos de acordo com os caracteres agrônômicos, sendo capaz de atender a diversas necessidades. O sorgo granífero é representado por cultivares que possuem porte baixo e grãos grandes, é utilizado na alimentação humana e/ou animal. O sorgo forrageiro é utilizado como planta forrageira na forma de silagem para alimentação de bovinos. O sorgo biomassa apresenta grande quantidade de massa verde, caule fibroso e porte alto (Embrapa, 2013). O sorgo vassoura apresenta ráquis resistente, porte alto, colmos geralmente finos, além de grãos pequenos e caules secos, sendo utilizado para a produção artesanal de vassouras de uso doméstico. O sorgo sacarino apresenta caule longo, suculento e doce e, de modo geral, possui menor produção de grãos que o tipo granífero, sendo utilizado para produção de etanol (Von Pinho e Vasconcelos, 2002; Embrapa, 2013).

A produção agrícola brasileira possui, como base de sucesso, a pesquisa e o desenvolvimento agropecuário. Porém, isso só é possível graças a tecnologias geradas por meio de programas de melhoramento genético das principais Instituições de Ciência e Tecnologia do País. Nesse cenário, se destaca o potencial de produção de energia a partir da cana-de-açúcar para produção de álcool. A cana-de-açúcar pode ser cultivada em 10 milhões de hectares nas regiões Centro-Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil, e com o uso adequado de tecnologias, o potencial de produção atinge 900 milhões de toneladas (Scolari, 2006). Entretanto, os setores da agroindústria canavieira procuram o sorgo sacarino com o objetivo de sustentabilidade e abertura de novos negócios (Durães, 2011), já que o sorgo é uma alternativa na produção de etanol na entressafra de cana-de-açúcar.

O sorgo sacarino se destaca como cultura bastante promissora para produção de etanol tanto do ponto de vista agrônômico quanto industrial. Apresenta colmos suculentos com açúcares diretamente fermentáveis e potencial de produção voltado para atender o setor sucroalcooleiro como matéria-prima, principalmente no final da primavera e início do verão (entressafra da cana-de-açúcar), garantindo o abastecimento das indústrias por um período maior. Dessa forma, associa-se a possibilidade de utilizar a mesma estrutura de colheita,

moagem e processamento da cana-de-açúcar nas usinas para produção de etanol. Isso aumenta a eficiência no uso de recursos de produção da empresa como mão de obra, equipamentos, máquinas e benfeitorias, contribuindo para a maior sustentabilidade da atividade e reduzindo o impacto de possíveis momentos de instabilidade do mercado deste setor.

O ciclo de cultivo de lavouras de sorgo sacarino com semeadura entre os meses de setembro e dezembro (dependendo da região produtora) e colheita entre os meses de janeiro e abril fornece matéria-prima de qualidade para as usinas de beneficiamento da cana, época que ficam ociosas, e a produção de etanol diminui consideravelmente no País. Dessa forma, as usinas podem utilizar suas próprias terras, sem a necessidade de expandir fronteiras.

O processamento dos colmos de sorgo é o mesmo já utilizado para a cana-de-açúcar, o que reforça a cultura como uma alternativa importante para o plantio, inclusive em áreas de reforma de canavial, sem a necessidade de ocupação de novas áreas (Ribeiro Filho et al. 2008; Durães, 2011; Lourenço et al. 2013).

Dentre os diversos tipos de sorgo, o sorgo sacarino é uma matéria-prima alternativa para a produção de biocombustíveis, nomeadamente bioetanol, porém a cultura e os seus subprodutos, como o bagaço de sorgo, possuem a capacidade de ser utilizados como forragem na alimentação de ruminantes (Bolse et al. 2003; Olivier et al. 2004),

No Brasil, as usinas de etanol de grande porte estão localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste (Pereira e Silveira, 2016). Já as miniusinas estão localizadas no Rio Grande do Sul, com a agricultura familiar, com isso os coprodutos gerados pela produção de etanol são utilizados para alimentação animal (bagaço e grãos) (Mapa, 2006; Embrapa, 2013).

A perda em produtividade em razão do desconhecimento sobre adequados níveis de fornecimento de nutrientes é um dos problemas enfrentados pelas usinas (Embrapa, 2013), fazendo-se necessária a valorização de subprodutos por meio da alimentação animal. São poucos os estudos realizados com adubação de plantio e em cobertura relacionados com o sorgo sacarino tanto da quantidade quanto no (s) momento(s) de realizar a fertilização da cultura, assim essa recomendação de adubação é recente e ainda se encontra em fase de avaliação.

No contexto ambiental, o etanol produzido por meio da cana-de-açúcar reduz em média 89% a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, se comparado à gasolina. O efeito estufa aumenta a temperatura do planeta contribuindo para o derretimento das geleiras, conseqüentemente, aumenta o nível dos oceanos e há maior probabilidade de ocorrer

fenômenos naturais. Nesse cenário se destaca a vantagem da utilização de biocombustíveis, como o etanol oriundo de plantas energéticas como a cana e o sorgo sacarino.

Entre os combustíveis, o etanol é o que lança menos gás carbônico à atmosfera pelo fato de ser extraído de culturas que fazem fotossíntese, ao contrário dos combustíveis fósseis que vêm de fontes não renováveis, em que o gás carbônico é extraído da terra (petróleo) causando aumento do teor de gás presente na atmosfera. Além desses gases do efeito estufa, a gasolina e o diesel lançam na atmosfera substâncias nocivas à saúde, como óxidos nitrosos que formam o ozônio e monóxido de carbono. O ozônio causa desconforto respiratório, irritação nos olhos e envelhecimento precoce; já o monóxido de carbono diminui a oxigenação no sangue, causando tonturas. O etanol pode lançar estas substâncias, porém em quantidade menor, pois a combustão no motor do veículo é muito maior.

Como a gasolina e o diesel possuem hidrocarbonetos na composição, lançam na atmosfera o benzeno (substância cancerígena) e o dióxido de enxofre (causa danos pulmonares), que pode provocar a chuva ácida. O diesel é um combustível que contém cadeias maiores de hidrocarbonetos, sendo, por isso, um dos mais poluentes, seguido da gasolina (Nova Cana, 2016).

A alta produtividade de etanol das cultivares do sorgo sacarino está associada às características agroindustriais, com produtividade de etanol em torno de 3.000 l ha⁻¹ (May et al., 2012). Essa produtividade pode ser obtida pela produção de 50 t ha⁻¹ de massa verde com rendimento de 60 l de etanol por tonelada de massa verde. Como o caldo é extraído do colmo, quanto maior a quantidade de colmos maior a quantidade de caldo e maior a riqueza de açúcar deste, maior será a produção de etanol (Murray et al. 2008). Nas cultivares de sorgo sacarino, a massa verde oriunda dos colmos representa 70 a 80% de sua massa total; já as folhas representam entre 15 a 20%, e as panículas representam 10 a 15% da massa total das plantas (Embrapa, 2013).

Em relação ao aumento da produtividade, este está relacionado à construção de um sistema de produção eficiente envolvendo a fertilidade do solo e a nutrição e adubação das plantas (Durães, 2011). Este autor comenta que apesar do sorgo sacarino ser uma espécie rústica e possuir boa adaptação a estresses ambientais, ela responde à adubação e por isso o manejo da fertilidade do solo deve atender às necessidades nutricionais da cultura (Coelho et al. 2002).

Rosolem e Malavolta (1981) concluíram que algumas cultivares de sorgo sacarino apresentam alta demanda de nutrientes para produtividades de massa seca entre 14 e 16 t ha⁻¹.

Segundo Franco (2011) e Borges et al. (2016), a extração de nutrientes é da seguinte ordem: $K > N > Ca > Mg > P > S > Fe > B > Mn > Zn > Cu$, sendo quantificada por Santos et al. (2014) com 14,0; 11,1; 3,0; 2,5; 1,3 e 0,7 kg K, N, Ca, Mg, P, S, respectivamente, e 225,0; 26,9; 22,7 e 4,4 g de Fe, Mn, Zn e Cu, respectivamente, para produção de uma tonelada de massa seca, e confirmada por Santos et al. (2015), que encontraram a extração dos nutrientes primários NPK de 11,06; 1,36 e 14,27 kg t⁻¹, respectivamente, de matéria seca produzida.

Segundo os mesmos autores, as pesquisas desenvolvidas pela Embrapa Milho e Sorgo, e que resultaram nessas extrações de nutrientes, sugerem para produção de 50 t ha⁻¹ de massa verde colmo de sorgo sacarino, em solos de fertilidade corrigida, aplicar no plantio 20 kg ha⁻¹ de N, 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O e em cobertura 160 kg ha⁻¹ de N e 140 kg ha⁻¹ de K₂O quando as plantas apresentarem de quatro a seis folhas (Santos et al. 2014). Na colheita do sorgo sacarino, a planta inteira é retirada da área, o que leva a uma alta exportação de nutrientes, por isso é necessário fazer um monitoramento frequente da fertilidade do solo, pois os nutrientes precisam ser repostos ao solo por meio de adubação, garantindo a sustentabilidade da produção.

Como visto, os nutrientes que são absorvidos em maior quantidade pela cultura do sorgo sacarino são o potássio e o nitrogênio. Entretanto, as pesquisas para sorgo sacarino ainda são escassas. A recomendação de adubação, principalmente para nitrogênio e potássio, tem sido baseada e adaptada das recomendações para o milho, sorgo forrageiro e sorgo granífero e sabe-se que as exigências do sorgo sacarino com relação ao N e K₂O são diferentes se comparadas a de outras culturas. Para sorgo granífero e forrageiro, as respostas para o potássio ocorrem com menor frequência do que para o nitrogênio (Borgonovi et al. 1982). Contudo, informações disponíveis na literatura a respeito da nutrição do sorgo forrageiro podem ser utilizadas como ponto de partida para estudos e racionalização do processo de fertilização do sorgo sacarino.

O nitrogênio é um nutriente de grande mobilidade no solo, tanto em profundidade como na transformação para forma gasosa, se perdendo por volatilização. Quando comparado com outros nutrientes, o N é muito difícil de ser mantido no solo ao alcance das raízes, portanto deve ser aplicado de forma constante e em maior quantidade. Além de ser um dos nutrientes que mais limita o crescimento das plantas, o nitrogênio faz parte de proteínas, ácidos nucleicos e muitas outras membranas e hormônios vegetais (Souza e Fernandes, 2006). Assim, evidencia-se a necessidade do correto manejo da adubação tanto de plantio como de cobertura (Furtini Neto et al., 2001).

O potássio também é um nutriente absorvido pelas plantas de sorgo em grandes quantidades (Franco, 2011). Além da sua grande importância na produtividade, este nutriente possui algumas funções significativas, como associação com a resistência das plantas à baixa disponibilidade de água e extremos de temperatura, redução de doenças e ataques de pragas. É conhecido como “nutriente da qualidade”, interferindo na qualidade de muitos produtos agrícolas (Furtini Neto et al., 2001). Também esse nutriente tem importante função no estado energético da planta, na translocação e armazenamento de assimilados e na manutenção da água nos tecidos vegetais. Na planta, o íon K^+ encontra-se predominantemente como cátion livre ou como cátion adsorvido e pode facilmente ser deslocado das células ou dos tecidos das plantas (Meurer, 2006).

Os resultados nutricionais da forragem de sorgo disponíveis apresentam alguma inconsistência, variando muito entre híbridos e cultivares de sorgo sacarino (Bolse et al. 2003; Olivier et al. 2004), o que reforça a necessidade de continuidade de estudos com esses genótipos nessa área. As silagens de cultivares destinada a produção de grãos apresentam maior digestibilidade por causa da contribuição desta parte da planta (Pesce et al. 2000; Bolse et al. 2003;), mas, no entanto, grandes variações nas produções de massa seca e grão (Bolse et al. 2003), na digestibilidade da forragem e nos resultados produtivos obtidos pelos animais (Bolse et al. 2003; Olivier et al. 2004) têm sido evidenciadas não somente entre cultivares como também entre as diferentes condições edafoclimáticas de produção do sorgo.

Muitos autores têm estudado o valor nutritivo de silagens de sorgo sacarino (Lima et al. 2008; Mizubuti et al. 2002; Allen e Johnson, 2009; Di Marco et al. 2009), silagens do bagaço (Whitfield et al. 2012) e o efeito da utilização de silagens do bagaço na produção de leite de vaca (Amer et al. 2012). O bagaço do sorgo sacarino tem maior valor biológico que o bagaço da cana-de-açúcar, com 50% menos lignina e mais carboidratos sendo usado como forragem para animais, (Castro et al. 1981 citado por Santos e Bressan 1986). Por sua vez, o alto teor de FDN e teor insignificante de N seriam os principais fatores limitantes do seu valor nutricional. Em função disso, dietas à base de bagaço de sorgo devem obrigatoriamente incluir ingredientes suplementares ricos em N (NRC, 2007 citado por Ávila et al. 2013), o que é facilmente resolvido com tecnologias atualmente disponíveis.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho agroindustrial e forrageiro do sorgo sacarino em diferentes doses de nitrogênio e de potássio em cobertura. Para isso, foram elaborados dois artigos: i) Desempenho agroindustrial do sorgo sacarino submetido a diferentes doses de nitrogênio e de potássio em cobertura; ii)

Desempenho forrageiro do sorgo sacarino submetido a diferentes doses de nitrogênio e de potássio em cobertura.

REFERÊNCIAS

ALLEN, F. L.; JOHNSON, R. Corn hybrid and sweet sorghum silage tests in Tennessee. Agronomic Crop Variety Testing and Demonstrations, University of Tennessee, 2009. Disponível em: <http://varietytrials.tennessee.edu/pdf/files/2009trialdata/cornhybridsweetsorghum_final.pdf>. Acesso em 03 mai 2016.

AMER, S.; SEQUIN, P.; MUSTAFA, A. F. Short communication: Effects of feeding sweet sorghum silage on milk production of lactating dairy cows, **Journal of Dairy Science**, v.95(2),p. 859-863, 2012.

ÀVILA, S. C.; MARTINS, A. A.; KOZLOSKIN, G. V.; ORLANDI, T.; MEZZOMO, M. P.; STEFANELLO, C. M.; HENTZ, F.; CASTAGNINO, P. S. Suplementação com farelo de girassol para ovinos alimentados com silagem de bagaço de sorgo sacarino. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.7, p.1245-1250, 2013.

BOLSE, K. K.; MOORE, K. J.; COBLENTZ, W. K.; SIEFERS, M. K.; WHITE, J. S. Sorghum silage. In: AL-AMOODI, L (Ed.). **Silage Science and Technology**. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA. 2003. p. 609-632.

BORGES, I. D.; FRANCO, A. A. N.; KONDO, M. K.; TEIXEIRA, E. C.; LARA, J. P.; MARTINS, D. C. Absorção de nutrientes na cultura do sorgo granífero. 2016. No prelo.

BORGONOVÍ, R. A.; GIACOMINI, S. F.; SANTOS, H. L. dos; FERREIRA, A. da S; WAQUIL, J. M.; SILVA, J. B.; CRUZ, I.; Recomendações para o plantio do sorgo sacarino. **Lavoura**. Rio de Janeiro, p. 38-42, set./out. 1982.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. Seja o doutor do seu sorgo. **Potafos**. Piracicaba. 24 p. dez. 2002 (Arquivo do Agrônomo, 14). Encarte de Informações Agronômicas, n. 100.

DI MARCO, O. N.; RESSIA, M. A.; ARIAS, S; AELLO, M. S; ARZADÚN, M. Digestibility of forage silages from grain, sweet and bmr sorghum types: Comparison of *in vivo*, *in situ* and *in vitro* data. **Animal Feed Science and Technology**, Argentina, v. 153 (3-4), p.161-168, 2009.

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**, Brasília, n. 3, p. 14-52, 2011.

EMBRAPA MILHO E SORGO. Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 36p. (Circular Técnica, 186). Disponível em <www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/966886/1/circ186.pdf>. Acesso em: 12 dez 2014.

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. 78 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semi-Árido). Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba,

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Curso de Pós-Graduação –Latu Sensu–2001. 261 p. (Especialização) a Distância: Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio. Universidade federal de Lavras/FAEPE. Lavras.

LIMA, J. A. de. Sorgo: Silagem com bom valor nutritivo. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <www.infobibos.com/Artigos/2008_4/SilagemSorgo/index.htm>. Acesso em: 21 jan 2016

LOURENÇO, M. E. V.; JANUARIO, M. I. N.; MASSA, V. M. L. Avaliação do potencial de variedades de sorgo sacarino e forrageiro para a produção de bioetanol. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 36, n. 1, p. 96-103, 2013.

MAPA, INSTITUTO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Nacional de Agroenergia**: 2006 - 2011. Brasília, DF. 110 p.2. Embrapa Informação Tecnológica. Disponível em: <www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/planos%20e%20programas/PLANO%20NACIONAL%20DE%20AGROENERGIA.pdf>. Acesso em: 02 dez 2014.

MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. (Ed.). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol**: Sistema BRS1G - Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. p. 92- 106. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos 139).

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S.(Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo p. 281-298. 2006

MIZUBUTI, I. Y.; RIBEIRO, E. L. A.; ROCHA, M. A.; SILVA, L. D. F.; PINTO, A. P.; FERNANDES, W. C.; ROLIM, M. A. Consumo e digestibilidade aparente das silagens de Milho (*Zea mays L.*), sorgo (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) e girassol (*Helianthus annuus L.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n (1), p. 267-272. 2002.

MURRAY, S. C.; SHARMA, A.; ROONEY, W, L.; KLEIN, P. E.; MULLET, J. E. ; MITCHELL, S. E.; KRESOVICH, S. Genetic Improvement of Sorghum as a Biofuel Feedstock: I. QTL for Stem Sugar and Grain Nonstructural Carbohydrates. **Crop Science**. v.. 48, n. 6, p. 2165-2179, 2008.

NOVA CANA. Etanol reduz a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa. Disponível em: < euvoudeetanol.com.br/etanol-produzido-atraves-da-cana-de-acucar-reduz-em-media-89-a-emissao-de-gases-responsaveis-pelo-efeito-estufa/>. Acesso em: 08 jun 2016.

OLIVER, A. L.; GRANT, R. J.; PENDERSEN, J. F.; O'REAR, J. Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. **Journal Dairy Science**, Estados Unidos. v. 87, p. 637–644, 2004.

PEREIRA, C. N.; SILVEIRA, J. M. F. J. Análise Exploratória da Eficiência Produtiva das Usinas de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 54, n. 01, p. 147-166,2016.

PESCE, D. M. C.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; RODRIGUEZ, N. M.; BORGES, I. Análise de vinte genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) de porte médio e alto, pertencentes ao ensaio nacional. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.4, p. 978-987, 2000.

RIBEIRO FILHO, N. M.; ALVES, R. M.; FLORÊNCIO, I. M.; FLORENTINO, E. R.; DANTAS, J. P. Viabilidade de utilização do caldo do sorgo sacarino para a produção de álcool carburante (etanol). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 9-16, 2008.

ROSOLEM, C. A.; MAVOLTA, E. Exigências nutricionais do sorgo sacarino. In: Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba **Anais**. Piracicaba, v. 38, 1981, p. 257-268.

SANTOS, F. C.; COELHO, A. M.; RESENDE, A. V.; MIRANDA, R. A. Correção do solo e adubação na cultura do sorgo. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 76-88, 2014.

SANTOS, F. C.; RESENDE, A. V.;ALBUQUERQUE FILHO, 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, 2015, 35 p. (Embrapa Milho e Sorgo, Boletim de Pesquisa e desenvolvimento, 130). Disponível em: <www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1037738>. Acesso em 05 fev 2016.

SANTOS, F. G.; BRESSAN, W. O sorgo sacarino na indústria do álcool. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.12, p.15-17, 1986.

SCOLARI, D. G. Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil. In:FUNDAÇÃO MILTON CAMPOS Visão progressista do agronegócio brasileiro. Brasília, DF: Fundação Milton Campos, 2006.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S.(Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo p. 215-252, 2006.

VON PINHO, R. G.; VASCONSELOS, R. C. Cultura do sorgo, Lavras: UFLA FAEPE, 2002, 76 p.

WHITFIELD, M. B.; CHINN, M. S.; VEAL, M. W. Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products. **Industrial Crops and Products**. Estados Unidos, v.37, n. 1, p. 362-375, 2012.

ARTIGO 1

DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL DO SORGO SACARINO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO EM COBERTURA

RESUMO - O sorgo sacarino pode ser plantado em áreas de reforma de canavial para fins energéticos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agroindustrial, qualitativamente e quantitativamente, da cultivar de sorgo sacarino BRS 511 submetida a diferentes doses de N e K₂O em cobertura. Foi conduzido experimento sem irrigação na região Central de Minas Gerais. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com 3 repetições, e os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 4, sendo 4 doses de nitrogênio (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹) x 4 doses de potássio (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) em cobertura. As características avaliadas foram: florescimento, altura de plantas, extração de caldo, massa verde, massa seca, sólidos solúveis totais, toneladas de Brix por hectare, teor de sacarose, açúcar redutor total, quantidade de álcool por hectare e quantidade de álcool por tonelada de massa verde. O sorgo sacarino respondeu à adubação nitrogenada e potássica em cobertura, sendo que adubação nitrogenada interferiu mais nas diversas variáveis analisadas em relação ao potássio. O melhor desempenho do sorgo sacarino, considerando a produção de litros de etanol por hectare, toneladas de Brix por hectare, litros de etanol por tonelada de massa verde, teor de sacarose e açúcar redutor total foi obtido com o uso de doses altas de N e K₂O em cobertura (cerca de 120 e 130 kg ha⁻¹, respectivamente).

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, adubação, etanol.

AGROINDUSTRIAL PERFORMANCE OF SORGHUM SACCHARINE SUBMITTED TO DIFFERENT DOSES OF NITROGEN AND POTASSIUM COVERAGE

ABSTRACT - The sweet sorghum, or sorghum saccharine, is planted in reform areas of sugarcane for energy purposes. The objective of this study was to assess qualitatively and quantitatively the agroindustrial performance of sorghum saccharine cultivar BRS 511 subjected to different doses of N and K₂O in coverage, conducted without irrigation in the Central region of Minas Gerais. The design was a randomized block design with three replications and treatments arranged in a factorial 4 x 4, with four nitrogen rates (45, 90, 135 and 180 kg ha⁻¹) x 4 potassium doses (50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹). The characteristics evaluated were flowering, plant height, juice extraction, green mass, dry matter, total soluble solids, tons of Brix per hectare, sugar content, total reducing sugar, alcohol and ethanol per hectare per ton of biomass. The best performance of sorghum saccharine, considering the production of liter of ethanol per hectare, tons brix per hectare, gallons of ethanol per ton of biomass, sugar content and sugar total reducing, occurs with use of high doses of N and K₂O coverage (up to 120 to 130 kg ha⁻¹, respectively).

Key words: *Sorghum bicolor*, fertilizer, ethanol.

Comitê Orientador: Prof. Dr. Iran Dias Borges – UFSJ (Orientador); Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella (Coorientador); Dra. Flávia Cristina dos Santos (Coorientadora).

INTRODUÇÃO

A grande preocupação atual com o meio ambiente, as constantes mudanças climáticas e a crise energética fazem com que seja necessário procurar alternativas de fontes de energia limpas e renováveis. Existe atualmente um interesse em pesquisas nestes temas, com a intenção de reduzir o consumo de fontes não renováveis, além de diminuir 90% da emissão de dióxido de carbono no meio ambiente e gerar emprego no setor rural, conseqüentemente, promovendo o desenvolvimento em regiões remotas no Brasil (Mapa, 2006). Dentre essas alternativas está o etanol de 1ª e de 2ª geração, oriundo de culturas como a cana-de-açúcar, o sorgo sacarino e o milho.

Pela sua facilidade de transporte e substituição no consumo da gasolina, o etanol ainda possui a característica de não ser tóxico e ser menos poluente (Ortega et al. 2006). Além disso, alguns países têm o compromisso de cumprir o Protocolo de Kyoto, que preconiza redução do efeito estufa no mundo, e o uso do etanol facilita atingir este objetivo. Diante disso, como matéria-prima disponível e renovável para produção de etanol, destaca-se o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

A planta de sorgo sacarino representa uma alternativa promissora para a produção de etanol no Brasil, tanto do ponto de vista agrônômico quanto industrial, por apresentar colmos suculentos com açúcares fermentáveis. A cultura é plantada entre os meses de outubro e dezembro (dependendo da região produtora) e colhido nos meses de fevereiro a abril para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Nesta época, a colheita coincide com a entressafra da cana-de-açúcar, com isso, o sorgo sacarino pode fornecer matéria-prima de qualidade entre os meses de janeiro a abril, época em que as usinas de beneficiamento da cana ficam ociosas e a produção de etanol diminui consideravelmente no País. Ademais, o processamento dos colmos deste tipo de sorgo é o mesmo já utilizado para a cana-de-açúcar, representando uma alternativa importante para plantio em áreas de reforma de canavial, sem a necessidade de ocupação de novas áreas (Durães, 2011).

A produtividade de etanol das cultivares de sorgo sacarino é considerada satisfatória e está associada a suas características agroindustriais como rendimento de colmos por hectare, umidade da biomassa, °Brix no caldo, porcentagens de extração de caldo, fibra dos colmos, açúcar redutor total, as quais irão refletir em litros de etanol por tonelada de colmos (Durães, 2011).

O requerimento nutricional das plantas de sorgo varia diretamente com o potencial de produção, envolvendo também diversas interações entre características de solo, do clima, do

sistema de rotação/sucessão de culturas, época de semeio, cultivar, adubação e tratos fitossanitários. O sorgo responde a incrementos no suprimento de água e à adubação, alcançando ou superando, em alguns casos, as produções de massa seca e de grãos normalmente obtidas com a cultura do milho (Durães, 2011). Então, nutrientes como N, P e K, que são requeridos em maior quantidade, influenciam diretamente a produtividade.

No manejo da adubação, entre outros, deve-se atentar para a extração de nutrientes do solo pela planta. O sorgo sacarino é uma cultura que possui alta demanda nutricional para alcançar elevada produtividade. Nesta condição, a cultura extrai e exporta uma grande quantidade dos nutrientes nitrogênio e potássio, em especial (Rezende et al., 2009). Rosolem e Malavolta (1981) concluíram que algumas cultivares de sorgo sacarino apresentam alta demanda de nutrientes para produtividades de massa seca entre 14 e 16 t ha⁻¹. Segundo Borges et al. (2016), a extração de nutrientes é da seguinte ordem: K > N > Ca > Mg > P > S > Fe > B > Mn > Zn > Cu, sendo quantificada por Santos et al. (2014) com 14,0; 11,1; 3,0; 2,5; 1,3; 0,7 kg t⁻¹ e 225,0; 26,9; 22,7 e 4,4 g t⁻¹ de K, N, Ca, Mg, P, S, Fe, Mn, Zn e Cu, respectivamente para produção de uma tonelada de massa seca, e confirmada por (Santos et al., 2015), que encontraram a extração dos nutrientes primários N, P e K de 11,06; 1,36 e 14,27 kg t⁻¹ de matéria seca produzida. Segundo os mesmos autores, as pesquisas desenvolvidas pela Embrapa Milho e Sorgo, que identificam essas extrações, sugerem que para produção de colmo de sorgo sacarino, em solos de fertilidade corrigida, maior que 50 t ha⁻¹ deve-se aplicar no plantio 20 kg ha⁻¹ de N, 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O e em cobertura 160 kg ha⁻¹ de N e 140 kg ha⁻¹ de K₂O quando as plantas apresentarem de quatro a seis folhas (Santos et al., 2014). Na colheita do sorgo sacarino, a planta inteira é retirada da área, por isso faz-se necessário um monitoramento frequente da fertilidade do solo por causa da alta exportação de nutrientes e estes precisam ser repostos ao solo por meio de adubação, garantido uma constante produtividade.

Quando a planta cresce e se desenvolve, além de aumentar sua matéria verde e seca para proporcionar maior produtividade, é necessário identificar a melhor estratégia de adubação para incremento de parâmetros também correlacionados com a produção industrial. Contudo, ainda, existem poucos estudos de recomendação de adubação para a cultura do sorgo sacarino, além de, muitas vezes, esses se basearem na cultura do sorgo forrageiro e até mesmo na cultura do milho, sendo necessário rever e complementar as informações já existentes. Assim, pode-se evidenciar a hipótese de que a adubação em cobertura influencia bastante as características agrônômicas e industriais da planta de sorgo sacarino.

Este trabalho teve como objetivo avaliar qualitativamente e quantitativamente o desempenho agrônômico e industrial de uma cultivar de sorgo sacarino submetida a diferentes doses de N e K₂O em cobertura, conduzida em sistema de sequeiro na região Central de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em área experimental da Universidade Federal de São João del-Rei, no campus de Sete Lagoas – MG. A área está localizada em terreno limítrofe a Embrapa Milho e Sorgo com as coordenadas geográficas 19° 28' 36" de latitude sul e 44° 11' 53" de longitude oeste, altitude de 769 m. O experimento foi instalado em Latossolo Vermelho Distrófico, com as seguintes características, antes da condução do experimento: pH em água = 5,8; P-Mehlich 1 = 52,04 mg dm⁻³; H +Al = 4,41; Ca = 5,95; Mg = 0,88; Al = 0,01; SB = 8,24; CTC = 12,65 (cmol_c dm⁻³); K = 551,2 ; Cu= 0,73; Fe = 41,45; Mn= 69,72; Zn = 4,08 (dag kg⁻¹); matéria orgânica = 4,73 (dag kg⁻¹); V = 65,13% ; Sat. Al = 0,12%; carbono = 2,75 (dag kg⁻¹).

O clima local segundo Köppen (Ometto, 1981) é do tipo AW (tropical estacional de savana, inverno seco), temperatura média anual 22,1 °C e precipitação média anual 1.290 mm. Os dados climáticos observados no período experimental (nov/2014 a abr/2015) foram: temperatura média 23,62 °C; umidade relativa média 70,17%; precipitação total 1.057,7 mm; insolação média 7,00 horas dia⁻¹ (Embrapa, 2015). Os dados climáticos por decêndio durante o período experimental (temperatura média, precipitação total, insolação média e umidade relativa média) se encontram na Figura 1.

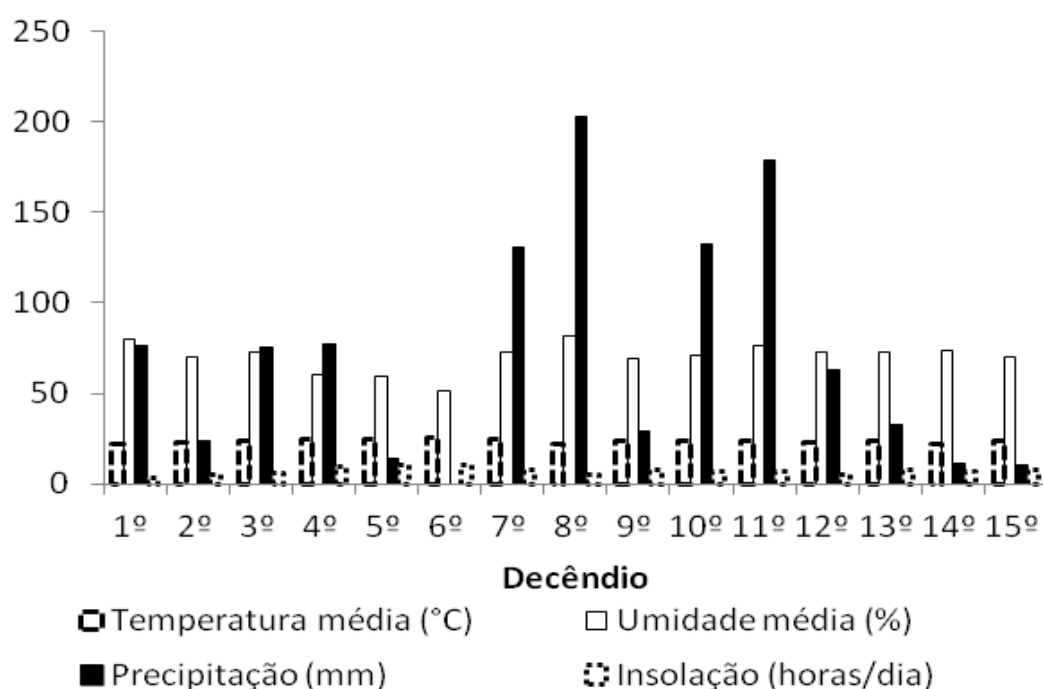


Figura 1: Dados climáticos, por decêndio (24/nov/2014 a 23/abr/2015) durante o período experimental. Temperatura média (°C), precipitação total (mm), insolação total (horas/dia) e umidade relativa média (%). Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG.

O experimento foi instalado no período primavera/verão dos anos 2014/2015. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 3 repetições, e tratamentos dispostos em esquema fatorial 4 x 4, sendo 4 doses de nitrogênio (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹) x 4 doses de potássio (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) em cobertura, totalizando 48 parcelas para avaliações.

No preparo do solo da área experimental foi utilizada grade aradora, grade niveladora e sulcador, um dia antes da semeadura, para marcação das linhas de plantio para semeadura manual. A cultivar de sorgo sacarino utilizada foi a BRS 511, recomendada para as condições edafoclimáticas da região Central de Minas Gerais. Esta foi semeada em parcelas com quatro fileiras de cinco metros cada e espaçadas de 0,70 metros. A semeadura foi realizada em 5 de dezembro de 2014 e a emergência ocorreu em 11 de dezembro de 2014, sendo definida em função da época de estabelecimento do início do período chuvoso; isso permitiu colheita ainda na entressafra da cana-de-açúcar.

O desbaste foi feito aos oito dias após a emergência, com o objetivo de manter uma população de 7 plantas m⁻¹ ou 100.000 plantas ha⁻¹. O controle de plantas daninhas foi realizado em pós-emergência do sorgo, aos 8 e 19 dias após a emergência (DAE) com uma capina manual e aos 22 dias após a emergência com o uso de Atrazina na dosagem de 4,0 l ha⁻¹.

¹. Para o controle dos insetos foi aplicado o inseticida Keshet na dosagem de 250 ml ha⁻¹, aos 22 dias após a emergência e aos 33 DAE foi aplicado o inseticida Match, na dosagem de 250 ml ha⁻¹.

A correção do solo com calagem não foi necessária e, em todos os tratamentos, a adubação de semeadura foi de 350 kg ha⁻¹ da fórmula N-P-K 08-28-16, considerando resultados da análise química do solo e uma expectativa de produção acima de 60 t ha⁻¹ de massa verde (Ribeiro et al., 1999). A adubação de cobertura foi realizada aos 26 dias DAE, quando as plantas apresentavam 5 folhas completamente desenvolvidas. O florescimento do sorgo ocorreu entre os 87 e 90 DAE.

Na época da colheita, que aconteceu no período de 110 a 117 DAE, foram medidos o diâmetro e a altura das plantas. Além disso, as plantas foram cortadas manualmente e rentes ao solo nas duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de bordadura. O material colhido foi pesado e os valores obtidos, transformados em kg ha⁻¹ para a obtenção da massa verde da planta inteira (colmo, folhas e panícula). Posteriormente retiraram-se seis plantas ao acaso que foram picadas em uma ensiladeira estacionária e homogêneos em uma betoneira acoplada ao equipamento e deste material foram retiradas e pesadas amostras de cerca de 450 gramas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante.

Além disto, foram retiradas amostras de 500 g do material verde triturado (colmos picados e homogêneos) para extração de caldo e realização das análises dele. O caldo foi extraído em uma prensa hidráulica Hidraseme, modelo PHS 250, por 60 segundos, com pressão de trabalho de 250 kgf cm⁻² sobre essa amostra de 500 gramas. Deste caldo foram coletados os dados de massa de caldo e °Brix. Logo após, o caldo foi acondicionado e armazenado em potes de 100 ml e congelado em ultrafreezer a uma temperatura -55 °C para conservação até o momento da análise laboratorial. No momento da análise do caldo, ele foi colocado em banho-maria para descongelamento lento e posterior execução dos protocolos de análises laboratoriais.

A seguir, a descrição das metodologias para obtenção das características avaliadas:

- a) Florescimento: número de dias após a emergência das plantas quando 50% das plantas da parcela estão liberando pólen.
- b) Altura de plantas (AP): distância, em metros, do solo ao topo da panícula principal em seis plantas da parcela.
- c) Diâmetro de colmo: média determinada com paquímetro digital na base do terço médio de seis plantas de sorgo na parcela útil.

- d) % Extração de caldo: após a extração do caldo, o mesmo foi pesado em balança digital e expresso na seguinte fórmula; % EXT = (massa do caldo/500) x 100.
- e) Massa verde (MV): pesagem das plantas colhidas na área útil da parcela, em balanças tipo dinamômetro. Os valores obtidos foram expressos em t ha⁻¹.
- f) Massa seca (MS): pré-secagem de amostras de cerca de 450 gramas do material fresco em estufa com ventilação forçada de ar a 65 °C até peso constante, e pesagem em balança analítica. O peso resultante, com base na massa verde obtida, foi expresso em t ha⁻¹.
- g) Sólidos solúveis totais (°Brix): mensurado pelo grau Brix com refratômetro digital (Consecana, 2006).
- h) Tonelada de Brix por hectare (TBH): determinado pela fórmula: TBH = massa verde x extração x °Brix.
- i) Teor de sacarose (POL): determinado pelo método de Consecana-SP (2006).
- j) Açúcar redutor total (ART): determinado pelo método redutométrico de Somogy, adaptado por Nelson (1944).
- k) Álcool por tonelada de massa verde: determinado pela fórmula = Álcool ha⁻¹ / massa verde.
- l) Álcool por hectare: determinado pela formula Álcool ha⁻¹= ART x 10 x 0,6475 x 0,85 x Massa Verde.

As análises do caldo foram realizadas no laboratório de Espectrofotometria de Refletância no Infravermelho Proximal (NIRS) na Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas-MG. Não foram consideradas perdas em escala comercial.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e quando ocorreram diferenças significativas, identificadas pelo teste F (P<0,05), foi aplicado o modelo de regressão com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2003). Os modelos para ajuste das equações foram escolhidos com base no coeficiente de determinação e na sua significância. Também para as interações significativas utilizou-se o programa SAS 9.3 (Statistical Analysis System) para a obtenção e visualização da superfície de resposta das variáveis em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo das análises de variância, para todas as características estudadas, está apresentado nas Tabelas 2 e 3. Observa-se que houve efeito significativo das doses de nitrogênio sobre florescimento, massa verde, massa seca, °Brix, toneladas de Brix por hectare,

teor de sacarose, açúcar redutor total, produção de álcool t⁻¹ de biomassa e produção de álcool ha⁻¹. Efeito significativo das doses de potássio ocorreu para altura das plantas, diâmetro do colmo, °Brix, toneladas de brix por hectare, teor de sacarose, açúcar redutor total e produção de álcool ha⁻¹. A interação N*K foi significativa apenas para altura e diâmetro de planta.

Tabela 2: Resumo da análise de variância para florescimento (FLO), em DAE, altura de plantas (ALT), em m, diâmetro do colmo (DIAM), em cm, porcentagem de extração de caldo (EXT), produtividade de massa verde (MV) e massa seca (MS), em t ha⁻¹, de sorgo sacarino BRS 511, em função das doses de N e de K₂O em cobertura. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

FV	GL	Quadrado médio					
		FLO	ALT	DIAM	% EXT	MV	MS
N	3	33,46**	0,006 ^{NS}	0,91 ^{NS}	2,34 ^{NS}	406,28*	61,33*
K	3	4,63 ^{NS}	0,29**	19,37**	20,14 ^{NS}	118,21 ^{NS}	20,81 ^{NS}
N * K	9	4,50 ^{NS}	0,15**	9,00**	28,52 ^{NS}	30,04 ^{NS}	15,63 ^{NS}
Bloco	2	43,16	0,29	3,12	18,81	3332,63	234,05
Erro	30	105,50	0,04	2,22	21,36	96,79	16,97
CV (%)		2,12	6,71	10,63	6,84	21,51	33,8
Média		88,27	3,04	1,40	67,53	45,73	12,18

** significativo a 1%; * significativo a 5%; NS não significativo pelo teste t.

Tabela 3: Resumo da análise de variância para teor de sólidos solúveis totais (SST), toneladas de Brix por hectare (TBH), teor de sacarose (POL), açúcar redutor total (ART), produção de álcool (ALCT), em l t⁻¹ de biomassa, produção de álcool (ALCH), em l ha⁻¹, de sorgo sacarino (BRS 511), em função das doses de N e de K₂O em cobertura. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

FV	GL	Quadrado médio					
		SST	TBH	POL	ART	ALCT	ALCH
N	3	37,28**	11,27**	26,89**	26,13**	790,941**	5658058**
K	3	17,72*	5,01**	12,84*	7,67*	232,08 ^{NS}	1772129**
N x K	9	6,98 ^{NS}	1,08 ^{NS}	6,74 ^{NS}	8,97 ^{NS}	271,83 ^{NS}	694411 ^{NS}
Bloco	2	18,79	37,22	22,13	11,64	352,57	19816096
Erro	30	4,72	1,02	3,81	4,43	134,30	485443
CV (%)		14,36	21,62	19,78	17,04	17,0	22,14
Média		15,13	4,69	9,87	12,36	68,02	3146,67

** significativo a 1%; * significativo a 5%; NS não significativo pelo teste t.

O florescimento teve comportamento quadrático em função do aumento da dose de nitrogênio em cobertura (Figura 2), com máximo valor, estimado pela equação de regressão, obtido com 116,7 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Os valores observados para o florescimento oscilaram entre 87 a 90 DAE corroborando com Borém et al. (2014) que trabalhando com a mesma

cultivar e local obtiveram 85 DAE para florescimento. O maior período de tempo para florescer observado neste trabalho muito se deve ao fato de que estádios mais sensíveis da cultura do sorgo sacarino coincidiram com a ocorrência de maior intensidade de estresse hídrico no período experimental, estresse esse que se iniciou quando a planta de sorgo estava com cinco folhas desenvolvidas. Contudo, as variações no período do florescimento não foram tão expressivas (apenas três dias) evidenciando a grande capacidade da planta de sorgo em recuperar sua atividade fisiológica após um período de estresse na fase de desenvolvimento vegetativo.

Souza et al. (2011) relatam a grande influência do fotoperíodo no desenvolvimento das cultivares, já que na época do outono/inverno as cultivares tendem a florescer mais cedo, afetando a massa verde e, conseqüentemente, outras características para a produção de etanol. A mesma constatação foi obtida por Parrella et al. (2010) que, em trabalho com híbridos de sorgo, evidenciaram a importância do fotoperíodo para o florescimento e para aumentar a produção de biomassa e, conseqüentemente, a produção de etanol. Assim, para este trabalho, pode-se verificar que o florescimento foi afetado pelo fotoperíodo, pois o veranico ocorrido em janeiro atrasou o florescimento das plantas, sendo o período vegetativo prolongado.

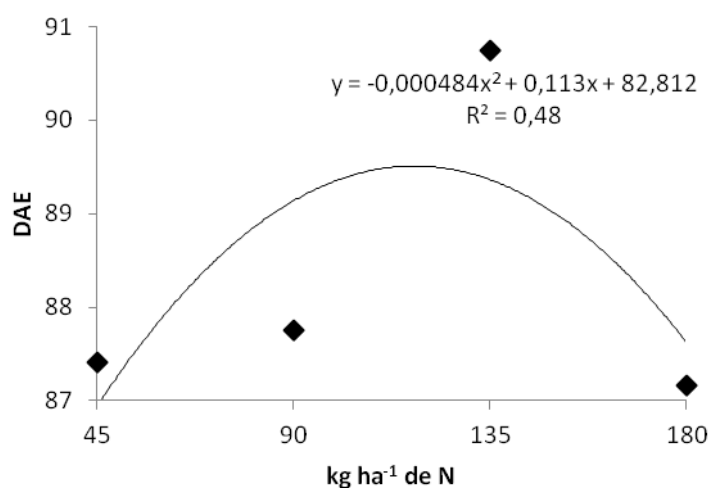


Figura 2: Valores para florescimento (DAE) em função das doses de N, considerando quatro doses de K₂O (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

Para a altura de plantas não houve influência dos nutrientes isoladamente, mas a interação foi significativa, com equação da curva de resposta (superfície de resposta) sendo $ALT = 3,4471 - 0,0016 * N - 0,0031 * K_2O - 3,3951E^{-6} * N * N + 1,7259E^{-5} * N * K_2O - 1,75E^{-6} * K_2O * K_2O$.

Observa-se que as doses que promoveram a maior altura se encontram até 80 kg ha^{-1} de N e até 60 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 3), sendo que os valores observados estiveram entre 3,1 m a 3,3 m. Esses valores foram superiores aos verificadas por Albuquerque et al. (2012), de 1,97 a 2,39 m, quando avaliaram o sorgo sacarino em localidades de Minas Gerais com diferentes altitudes. Nos trabalhos de Oliveira et al. (2005) e Pereira Filho et al. (2013) os valores da altura de plantas também foram inferiores, 2,92 e 2,74 m, respectivamente. Contudo, Giacomini et al. (2013) obtiveram a média geral da altura das plantas das cultivares de sorgo sacarino semelhante às obtidas neste trabalho.

Essas diferenças observadas entre os resultados são justificadas pelas condições edafoclimáticas ocorridas no período experimental (Figura 1). Neste trabalho, as temperaturas observadas e a disponibilidade hídrica, excetuando o veranico ocorrido, foram adequadas ao bom desenvolvimento das plantas de sorgo (Magalhães e Durães, 2003). Ademais, é relevante ressaltar o desempenho satisfatório do sorgo sacarino deste trabalho mesmo passando por um período de déficit hídrico durante o desenvolvimento vegetativo, indicando-o como alternativa de produção de forragem em situações hídricas inadequadas ao bom desempenho de espécies mais exigentes em água.

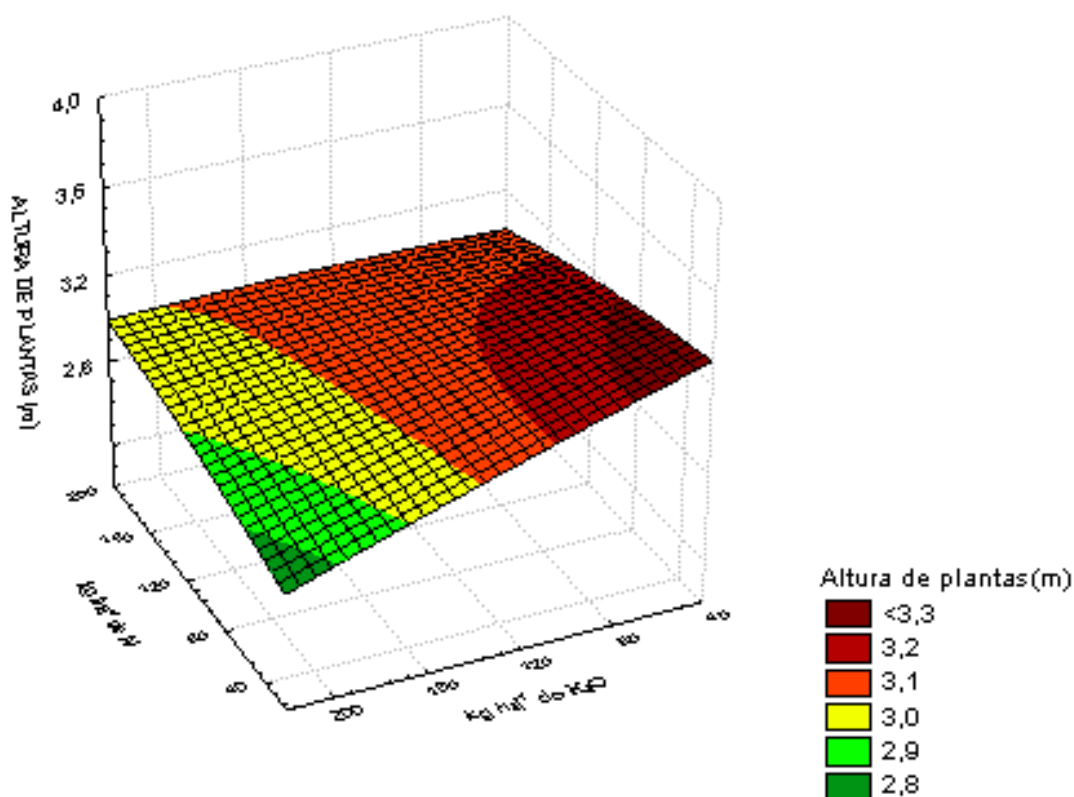


Figura 3. Altura de plantas de sorgo sacarino (BRS 511) em função da interação das doses de nitrogênio e de potássio. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

Para o diâmetro do colmo, a interação dos nutrientes foi significativa, com equação de superfície de resposta: $DIAM=18,4983 - 0,0202 * N - 0,0425 * K_2O + 6,9959E^{-6} * N * N + 0,0001 * N * K_2O + 6,3333E^{-5} * K_2O * K_2O$. A melhor dose de N e de K_2O que promoveu o maior diâmetro se encontra até 80 kg ha^{-1} e 60 kg ha^{-1} , respectivamente, sendo observados valores entre 14,5 a 17,4 mm (Figura 4).

Trabalhando com o sorgo forrageiro e adubação nitrogenada em cobertura, Parente et al. (2014) observaram que com o aumento da dose de N houve aumento do diâmetro das plantas, tendo como média 48,76 mm. Estes valores mostram que o diâmetro de colmo pode variar nos diversos tipos de sorgo, entre 0,5 a 30 mm (Von Pinho e Vasconcelos, 2002).

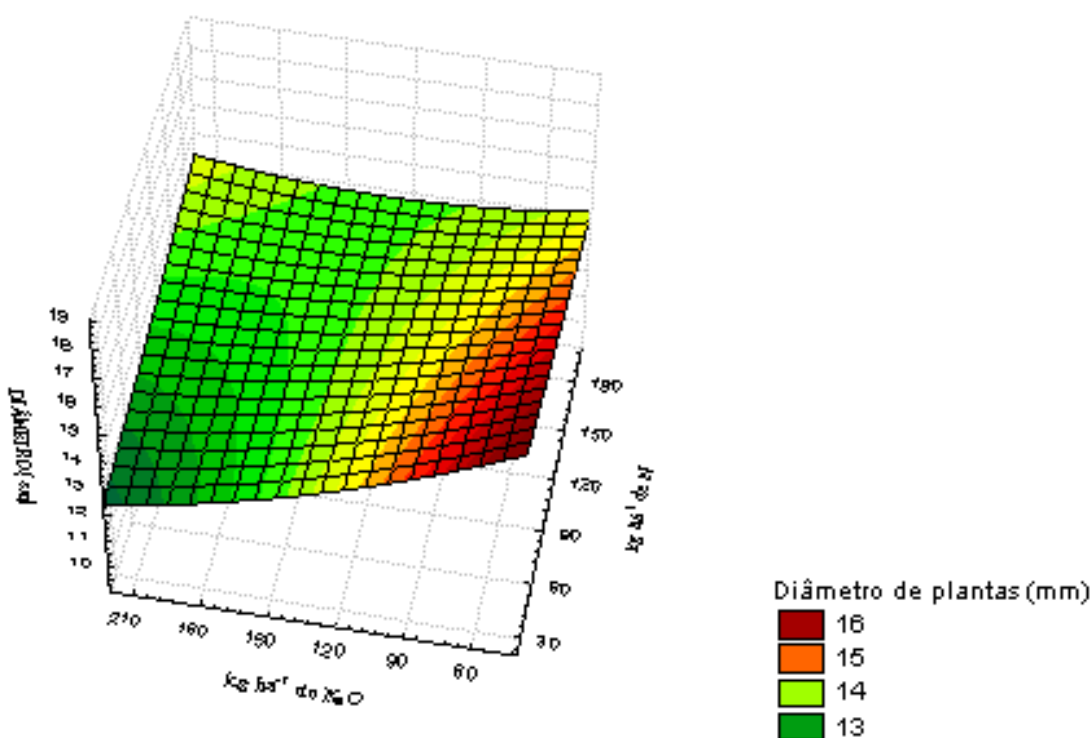


Figura 4: Diâmetro do colmo de plantas de sorgo sacarina (BRS 511) em função da interação das doses de nitrogênio e de potássio. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

Não houve diferença significativa nas adubações em cobertura para análise de porcentagem de extração de caldo (Tabela 2). Souza et al. (2011) obtiveram 44,95% de média para a extração de caldo em 25 cultivares de sorgo sacarina na época do verão e Giacomini et al. (2013) citam que a literatura considera que uma cultivar que apresente 50% de extração é considerada boa para a produção de etanol. Com isso, pode-se concluir que a cultivar analisada neste trabalho está apta para ser utilizada, considerando que foram obtidas 67,53% de extração como média e 3.030 l ha^{-1} de rendimento de etanol. Há de se considerar que a

prensa hidráulica, com adequada metodologia de uso, pode ter contribuído para a maior eficiência de extração em relação a outros trabalhos citados onde se fez uso de moendas.

A produtividade de massa verde teve comportamento quadrático em função do aumento da dose de nitrogênio em cobertura (Figura 5), com máximo valor, estimado pela equação de regressão, obtido com $146,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio. Pereira Filho et al. (2013) em pesquisa com a cultivar sacarina BR 506 e aplicação de 200 kg ha^{-1} de nitrogênio obteve cerca de $86,0 \text{ t ha}^{-1}$ de massa verde, o que foi bem superior a este trabalho com $49,39 \text{ t ha}^{-1}$ na dose de 180 kg ha^{-1} . Os autores justificam a elevada produtividade do primeiro trabalho como resultado de características genéticas desenvolvidas para a cultura suportar maior número de plantas por área e acumular mais açúcar.

A importância da adubação nitrogenada é ressaltada no trabalho de Teixeira et al. (1999) com a cultivar de sorgo sacarino BR 505, em que na ausência da adubação de cobertura ocorreu uma redução acentuada na massa verde das plantas. Já com a aplicação de N, houve incremento da massa verde, até um ponto máximo (95 kg ha^{-1} de N) a partir do qual os valores decrescem.

A falta de resposta da produtividade de massa verde em função da adubação potássica pode ser justificada pela alta disponibilidade de potássio no solo, aliada à adubação potássica de plantio. Contudo, Alves et al. (1988) afirmaram que para uma produtividade média de $60,4 \text{ t ha}^{-1}$ de colmos não desfolhados frescos, as exigências são de 116 kg ha^{-1} de K_2O . A variação da precipitação também influencia a concentração de potássio disponível no solo em razão da umidade, pois a umidade do solo melhora a difusão do K_2O , em solução do solo e promove a sua liberação dos espaços interlaminares da argila de acordo com Mengel e Kirkby (1980). Na Figura 1 (5º decêndio), observa-se que não houve déficit de precipitação e umidade na área experimental na época da adubação em cobertura, mostrando que a difusão e o fluxo de massa, principais mecanismos de transporte de K^+ da solução do solo até a superfície radicular não foram afetados.

Com relação à massa verde, este trabalho resultou em $45,73 \text{ t ha}^{-1}$ para a BRS 511, valor este superior as cultivares BRS 506 e BRS 507 avaliadas em diferentes localidades por Albuquerque et al. (2012) considerando o espaçamento de $0,70 \text{ m}$ e a adubação de cobertura com N e K_2O , ambas de 90 kg ha^{-1} (doses contempladas neste trabalho), evidenciando a evolução nesta característica com essa cultivar mais recentemente disponível no mercado. Entretanto, com os resultados obtidos, pode-se inferir que esse desempenho possivelmente se deve ao maior sucesso da adubação nitrogenada de cobertura que a potássica.

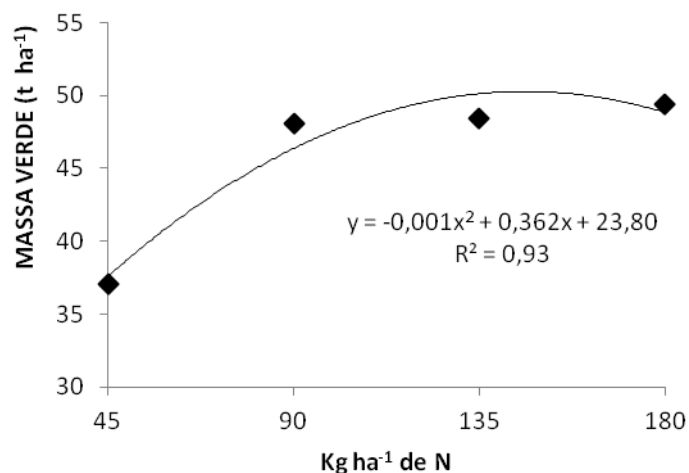


Figura 5: Produtividade de massa verde de sorgo sacarino ($t\ ha^{-1}$) em função das doses de N, considerando quatro doses de K_2O (50, 100, 150 e 200 $kg\ ha^{-1}$). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

A produtividade de massa seca teve um comportamento linear e crescente em função das doses de N (Figura 6), sendo que para o aumento de 1 $kg\ ha^{-1}$ de nitrogênio há um acréscimo de 0,34 $kg\ ha^{-1}$ de massa seca. O valor máximo de massa seca obtido foi de 14,35 $t\ ha^{-1}$, sendo próximo ao encontrado por Oliveira et al. (2005), média de 15,17 $t\ ha^{-1}$, que trabalhando com diferentes genótipos de sorgo (BRS 610, CMSXS 762, BR 506 e BR700) não obtiveram resposta dessa variável às doses de nitrogênio. Já Rosolem e Malavolta (1981) obtiveram produtividade de massa seca de 14 a 16 $t\ ha^{-1}$ para as cultivares de sorgo sacarino (Brandes e Rio) com doses altas de nutrientes (150 $kg\ ha^{-1}$ de N, 200 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 e 100 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O). Esses autores observaram ainda que a extração de nutrientes pela planta seguiu a seguinte ordem: $K > N > Ca > Mg > P > S > Fe > B > Mn > Zn > Cu$, o que evidencia a importância deste trabalho com doses de nitrogênio e potássio.

A produtividade máxima de massa seca foi obtida na maior dose de N avaliada, porém essa produtividade foi inferior à produtividade de cultivares de sorgo forrageiro disponíveis no mercado como, por exemplo, para a cultivar BRS 655 que apresentou produtividade de massa seca entre 15 a 18 $t\ ha^{-1}$ (Rodrigues et al. 2008). Adicionalmente, Franco (2011) em experimento com sorgo (BRS 610) e irrigação suplementar em Janaúba-MG, aplicando no plantio 500 $kg\ ha^{-1}$ de NPK 04-30-10 mais 1,5 $kg\ ha^{-1}$ de Zn e três adubações parceladas de cobertura (totalizando 500 $kg\ ha^{-1}$ de NPK 30-00-20 e 300 $kg\ ha^{-1}$ de sulfato de amônio)

obteve o valor máximo de produtividade de massa seca de 18,28 t ha⁻¹, valor também superior ao deste trabalho.

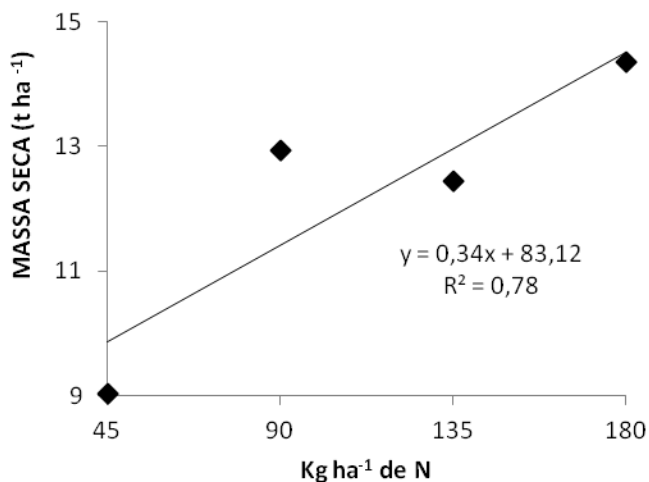


Figura 6: Produtividade de massa seca de sorgo sacarino (t ha⁻¹) em função das doses de N em cobertura, considerando quatro doses de K₂O (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹). UFSJ, Sete Lagoas, MG-2016.

A resposta dos sólidos solúveis totais às doses de N de cobertura foi quadrática (Figura 7 A), com máximo valor, estimado pela equação de regressão obtido com 120,02 kg ha⁻¹ de nitrogênio. O valor médio encontrado neste trabalho foi de 15,13 °Brix, sendo pouco inferior aos obtidos por Pereira Filho et al. (2013), que trabalhando com materiais de sorgo sacarino (diferentes híbridos e densidades), encontraram valor médio de 15,62 °Brix, com aplicação de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Já Santos et al. (2015), em pesquisa com diferentes doses de N e K₂O, observaram que a dose de 80 kg ha⁻¹ para ambos os nutrientes proporcionou o maior valor de °Brix, e Parrella et al. (2010), avaliando 25 genótipos de sorgo sacarino, em cinco locais, alcançaram °Brix médio de 18,42.

De acordo com a Embrapa (2013), a produção de etanol se torna viável economicamente quando o sorgo sacarino apresenta um ART mínimo de 12,5%, que corresponde a um valor de 14,25 a 14,50 °Brix, sendo diretamente influenciado pela atividade fotossintética. Esta, por sua vez, depende da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, ou seja, o arranjo de plantas pode influenciar diretamente o valor do °Brix. O autor ainda relata que o nível de fertilidade do solo, temperatura, disponibilidade hídrica e radiação disponível também afetam diretamente essa característica. Então, neste trabalho o valor encontrado dentro da faixa esperada para uma boa produção de etanol.

Considerando o potássio, a resposta às doses aplicadas em cobertura também apresentou comportamento quadrático (Figura 7 B), com máximo valor, estimado pela equação de regressão, obtido com 128,76 kg ha⁻¹ de K₂O. Rosolem et al. (1982), aplicando diferentes doses de nitrogênio e potássio em duas cultivares e em dois tipos de solo, confirmaram a importância da adubação em cobertura com potássio, pois mesmo nos tratamentos sem adubação nitrogenada houve ganhos no teor de sólidos solúveis com a aplicação do potássio, mesmo com alta disponibilidade no solo.

Com os trabalhos supracitados se observa que a produtividade de massa verde reflete positivamente na produção de caldo. Entretanto, o conteúdo de açúcares no caldo e, por consequência, a conversão em etanol é dependente da cultivar, fatores ambientais, época de colheita, eficiência de processos de transporte e de conversão industrial, assim, os valores encontrados neste trabalho para os sólidos solúveis totais ficaram na faixa de limite mínimo considerado pela indústria (15 a 19 °Brix) (May et al. 2012).

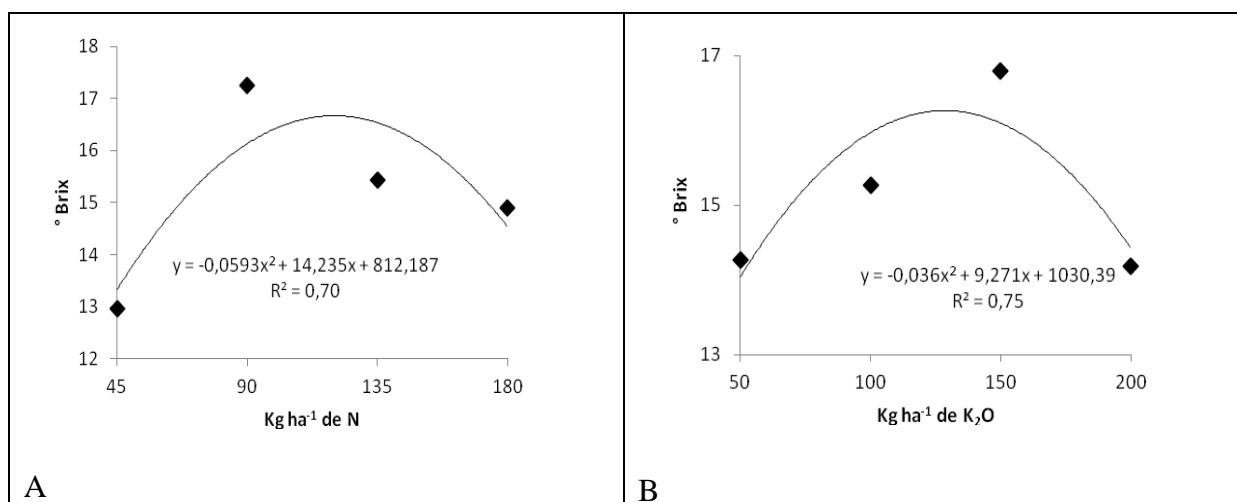


Figura 7: Sólidos solúveis totais de sorgo sacarino (°Brix) em função das doses de N, considerando quatro doses de K₂O (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), A; e em função das doses de K₂O considerando quatro doses de N (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹), B. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

A quantidade de toneladas de Brix por hectare (TBH) apresentou comportamento quadrático em função do aumento das doses de nitrogênio e potássio em cobertura, com o máximo valor estimado pela equação de regressão com 133,5 kg ha⁻¹ tanto de N quanto de K₂O (Figuras 8 A e B).

A quantidade de toneladas de °Brix por hectare abrange os caracteres de massa verde, porcentagem de extração de caldo e sólidos solúveis totais, influenciando a produção de etanol por hectare e sendo adequada para selecionar genótipos superiores de sorgo sacarino.

Neste trabalho se obteve média de 4,69 para TBH, superior ao obtido por Durães et al. (2014) que alcançaram como média geral 3,98 de TBH trabalhando com 45 genótipos de sorgo sacarino oriundos do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, em três locais diferentes e aplicando 200 kg ha⁻¹ de ureia. Os autores observaram que, com a associação de médias altas de, no mínimo, duas dessas características envolvidas supracitadas, é possível obter um maior TBH e, conseqüentemente, maior quantidade de álcool por hectare.

Contudo, a diferença de valores de TBH deste trabalho em comparação com o trabalho de Durães et al. (2014) é, em parte, explicada pelo fato de que mesmo com menor produtividade de massa verde obtida neste trabalho, foram alcançados maiores valores de TBH em função de a cultivar BRS 511 ter apresentado valores mais altos de °Brix e de porcentagem de extração de caldo, nas condições avaliadas.

A cultura da cana-de-açúcar apresenta valores de TBH maiores se comparados aos do sorgo sacarino, porém essa superioridade se justifica pela maior quantidade de biomassa produzida por hectare. Como exemplo, Lemões et al. (2011) trabalharam com 34 clones e 2 variedades de cana-de-açúcar na região Sul do Brasil e obtiveram 18,68 TBH, com produtividade média de 112,64 toneladas de massa verde de colmo por hectare e 12,36 °Brix. Neste trabalho, foi obtido com a BRS 511 4,69 de TBH, 45,73 t ha⁻¹ de massa verde de colmos e 15,13 de °Brix. Assim, se dois dos caracteres estiverem com valores altos, o TBH terá valor satisfatório, tornando-se, desta forma, uma característica importante para a seleção de genótipos para alta produção de etanol.

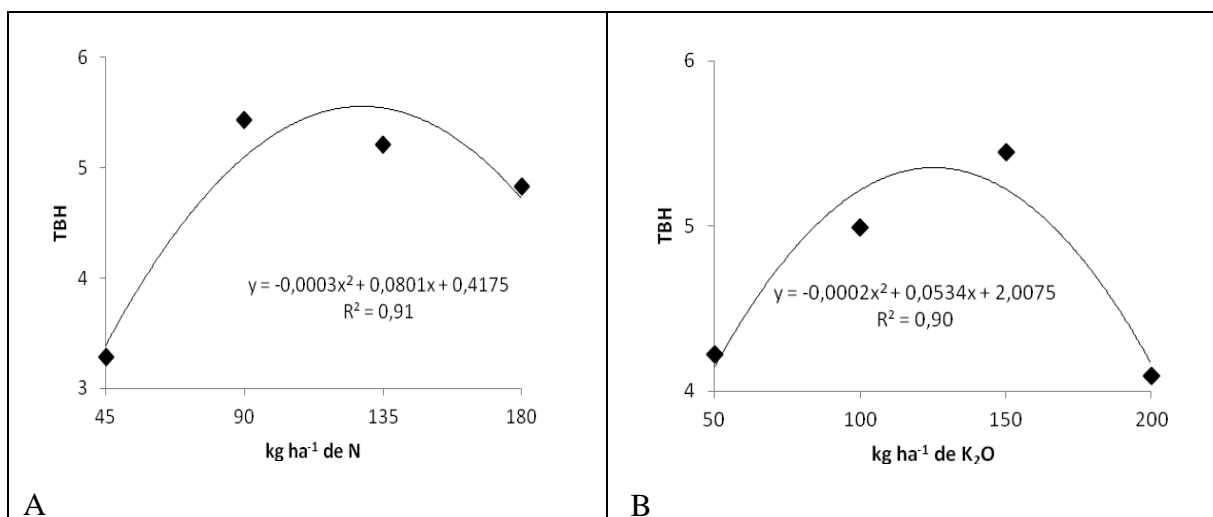


Figura 8: Toneladas de Brix por hectare de sorgo sacarino (TBH) em função das doses de N, considerando quatro doses de K₂O (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), A; e em função das doses de K₂O considerando quatro doses de N (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹), B. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

O teor de sacarose apresentou comportamento quadrático em função do aumento das doses de nitrogênio e de potássio em cobertura, com valores máximos, estimados pela equação de regressão, obtidos com 120,18 e 128,27 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente. Entretanto, observou-se valor médio de teor de sacarose de 9,87% para ambas as adubações (Figuras 9 A e B). Assim, este trabalho corrobora o de May et al. (2012) onde afirmam que o caldo de sorgo sacarino possui uma composição diferente em relação ao da cana-de-açúcar, possuindo mais glicose e menos sacarose e amido.

Rosolém et al. (1982) em trabalho com duas cultivares de sorgo sacarino (Brandes e Rio) em dois solos e aplicação de N, P₂O₅ e K₂O, observaram que no Latossolo Roxo, com a aplicação de N, o teor de sacarose teve aumento moderado na cultivar Brandes, e este foi mais evidente do que na cultivar Rio, alcançando como média de 11,9%. Considerando o potássio, não houve resposta significativa. Já Uriber e Ticianeli (2014), em trabalho com sorgo sacarino na região de São Paulo em diferentes densidades e com adubação de plantio de 30, 50, 50 e 40 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e S, respectivamente, obtiveram maior teor de sacarose (15,10%) com maior densidade de plantas (142.857 plantas ha⁻¹). Esses valores encontrados para o teor de sacarose pelos autores são maiores do que as deste trabalho (média de 9,87%). De acordo com Sandeep et al. (2010) o caldo acumula o máximo de açúcares quando os grãos atingem a maturidade fisiológica, porém de acordo com Wang et al. (2009) os valores estão adequados dentro do limite. Assim, os autores acrescentam que na maturidade fisiológica o caldo contém entre 10 a 25% de açúcares (principalmente sacarose, glicose e frutose).

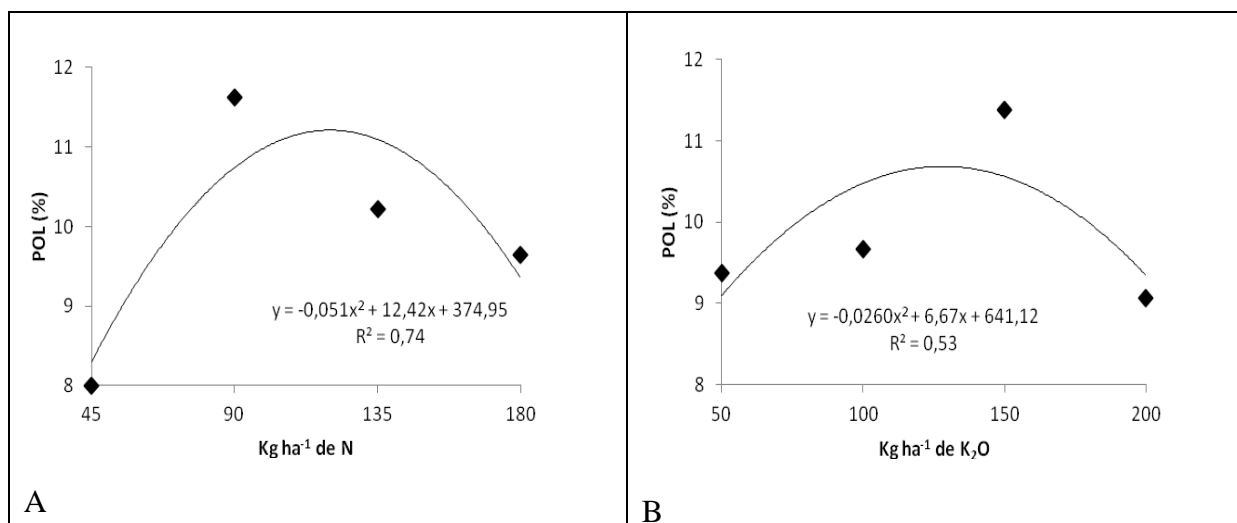


Figura 9: Teor de sacarose de sorgo sacarino (POL %) em função das doses de N, considerando quatro doses de K₂O (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), A; e em função das doses de K₂O considerando quatro doses de N (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹), B. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

Anteriormente, a qualidade da matéria-prima para produção de etanol era determinada somente pelo teor de sacarose, mas atualmente se analisam as características físico-químicas e microbiológicas que afetam a recuperação do açúcar na fábrica e a qualidade do produto final. Dentre essas características estão os fatores intrínsecos (sacarose, açúcar redutor, fibras, temperatura, chuva, etc.) e extrínsecos (restos de culturas e plantas invasoras) (Ageitec, 2009).

Assim, analisando o açúcar redutor total, este apresentou comportamento quadrático em função do aumento das doses de nitrogênio e de potássio em cobertura, com valores máximos, estimados pela equação de regressão, obtidos com 123,4 e 130,27 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente (Figuras 10 A e B). Este comportamento mostrado neste trabalho permite inferir que para açúcar redutor total há um ponto máximo a partir do qual não há mais resposta aos acréscimos de N e K₂O em cobertura.

Como o ART representa a somatória dos açúcares redutores e da sacarose invertida por hidrólise ácida ou enzimática pela invertase, a porcentagem mínima de 12% deve ser levada em consideração para que a levedura, no processo de industrialização, converta completamente este nível de açúcar em etanol dentro do tempo adequado.

Segundo May et al. (2013), a viabilização econômica da produção de etanol a partir do sorgo sacarino requer níveis mínimos de teor de açúcar total no caldo, que situa em torno de 12,5%, correspondente a °Brix de 14,25 a 14,50. Estes valores de referência se assemelham aos resultados obtidos nesse trabalho. Assim, é viável se fazer uma adubação nitrogenada e

potássica em cobertura em sorgo sacarino para ganhos em °Brix notadamente com valores até cerca de 120 e 130 kg ha⁻¹ de N e de K₂O, respectivamente.

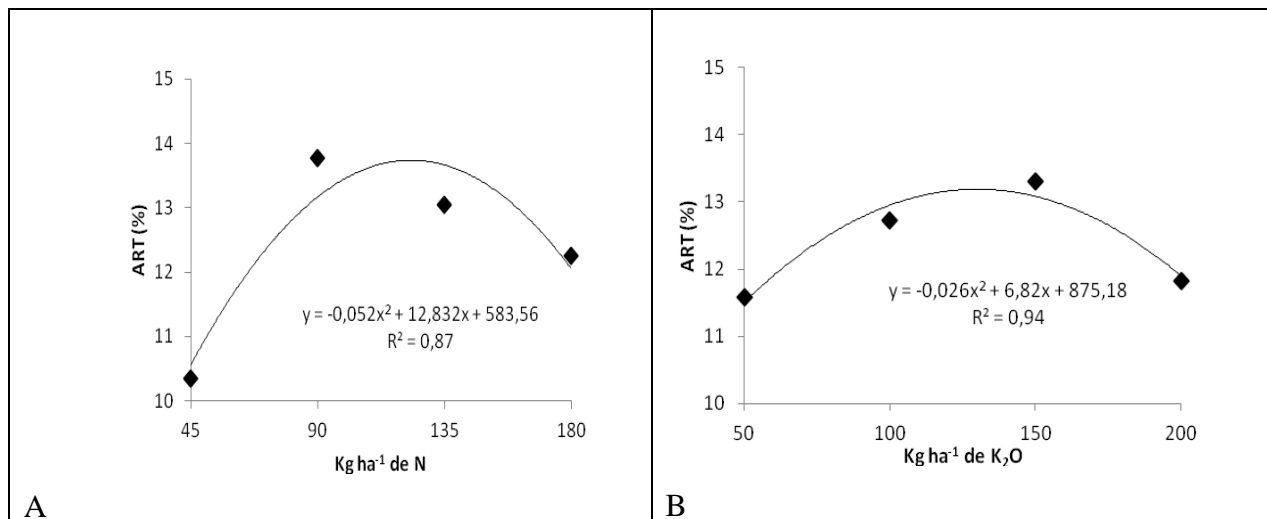


Figura 10: Açúcar redutor total (%) em função das doses de N, considerando quatro doses de K₂O (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), A; e em função das doses de K₂O considerando quatro doses de N (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹), B. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

A produção média de álcool por tonelada de massa verde teve comportamento quadrático em função do aumento das doses de nitrogênio e de potássio em cobertura, com valores máximos, estimados pela equação de regressão de 56,98 e 75,83 l t⁻¹, com as doses de 123,45 e 130,42 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente (Figuras 11 A e B). O valor médio da produção de álcool foi de 68,03 l t⁻¹ de massa verde.

Como existe uma relação direta entre litros de etanol produzidos por hectare e litros de etanol produzido por tonelada de biomassa, Emygdio et al. (2011) estimaram, para a cultivar de sorgo sacarino BR 506, uma média de 55 litros de etanol por tonelada de colmos verde, e, considerando uma média de produtividade entre 48 e 70 t ha⁻¹ de colmos verdes, seria possível produzir entre 2.640 l ha⁻¹ e 3.850 l ha⁻¹ de etanol. Zeferino (2015) trabalhando com sorgo em Cascavel para obtenção de etanol e silagem obteve 1.099, 873, 887 e 864 l ha⁻¹ de etanol para o sorgo Sugargraze, Formoso, ADV 2010 e BRS 506 respectivamente, com produção de biomassa de 85.833 (Sugargraze), 40.595 (Formoso), 71.905 (ADV2010) e 52.381 (BRS506) kg ha⁻¹, e rendimento estimado de aproximadamente 12,9 (Sugargraze), 21,8 (Formoso), 12,4 (ADV2010) e 16,6 (BRS506) l t⁻¹ de massa verde.

Entretanto, valor médio de litros de etanol produzido por tonelada de massa verde encontrado neste trabalho está abaixo do que o valor obtido por May et al (2012), então, esse

se torna mais um motivo para sugerir a adoção de outras práticas de manejo e condições climáticas para o bom desempenho agroindustrial de cultivares de sorgo sacarino.

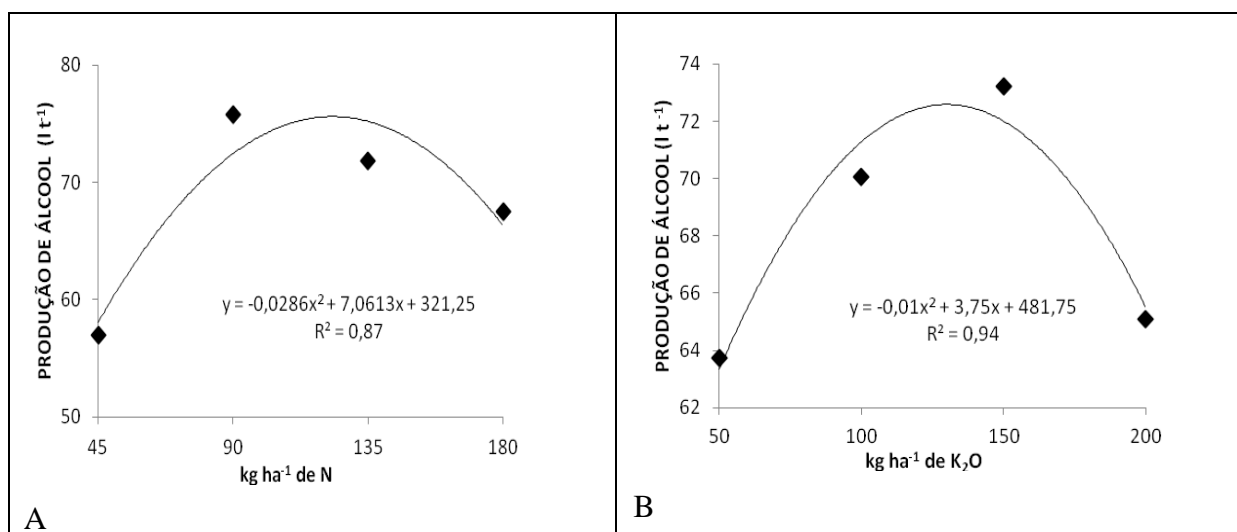


Figura 11: Produção de álcool de sorgo sacarino ($l t^{-1}$ de massa verde de colmos) em função das doses de N, considerando quatro doses de K_2O (50, 100, 150 e 200 $kg ha^{-1}$), A; e em função das doses de K_2O ; considerando quatro doses de N (45, 90, 135 e 180 $kg ha^{-1}$), B. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

A produção de álcool por hectare teve comportamento quadrático em função do aumento das doses de nitrogênio e de potássio em cobertura com valores máximos, estimados pela equação de regressão, com 132,15 e 127,04 $kg ha^{-1}$ de N e K_2O , respectivamente (Figura 12 A e B). Nos diferentes tratamentos, os valores obtidos neste trabalho variaram entre 2.129 e 3.606 litros ha^{-1} de etanol, com média de 3.146, 77 $l ha^{-1}$ de etanol.

Com a aplicação de N, a produção de litros por hectare de etanol responde significativamente à aplicação de N, alcançando como média 3.936 $l ha^{-1}$ (Rosolém et al., 1982). Já Zhao et al. (2009) avaliaram cinco cultivares de sorgo sacarino em Pequim, na China, com três épocas de corte após o florescimento, e obtiveram rendimentos de 1.281 $l ha^{-1}$ a 5.414 $l ha^{-1}$ de etanol. No Brasil, Araújo et al. (2012) comentam que a produção encontrada de etanol não passa de 3.500 $l ha^{-1}$ por causa da falta de manejo e planejamento da lavoura. Zeferino (2015) trabalhando com sorgo em Cascavel, PR, para obtenção de etanol e silagem obteve 1.099, 873, 887 e 864 $l ha^{-1}$ para o sorgo Sugargraze, Formoso, ADV 2010 e BRS 506 respectivamente. Entretanto, Emygdio et al. (2011) encontraram maiores valores ao estimar para o sorgo sacarino BR 506 uma produção entre 2.640 $l ha^{-1}$ a 3.850 $l ha^{-1}$ de etanol através de uma média de colmos entre 48 a 70 $t ha^{-1}$.

As diferentes produtividades de etanol encontradas pelos autores ainda são inferiores às de experimentos realizados pela Embrapa, onde as variedades analisadas são superiores na

produção de etanol em comparação aos híbridos presentes no mercado, apresentando 75 l t^{-1} de biomassa e produção de álcool superior a 4.325 l ha^{-1} (May et al. 2012). Contudo, como a produção de etanol considera o teor de ART e massa verde em sua composição, o valor deste trabalho pode ter sido inferior. Esses resultados justificam a prática da adubação de nitrogênio e potássio em cobertura para o bom desempenho industrial desta cultivar.

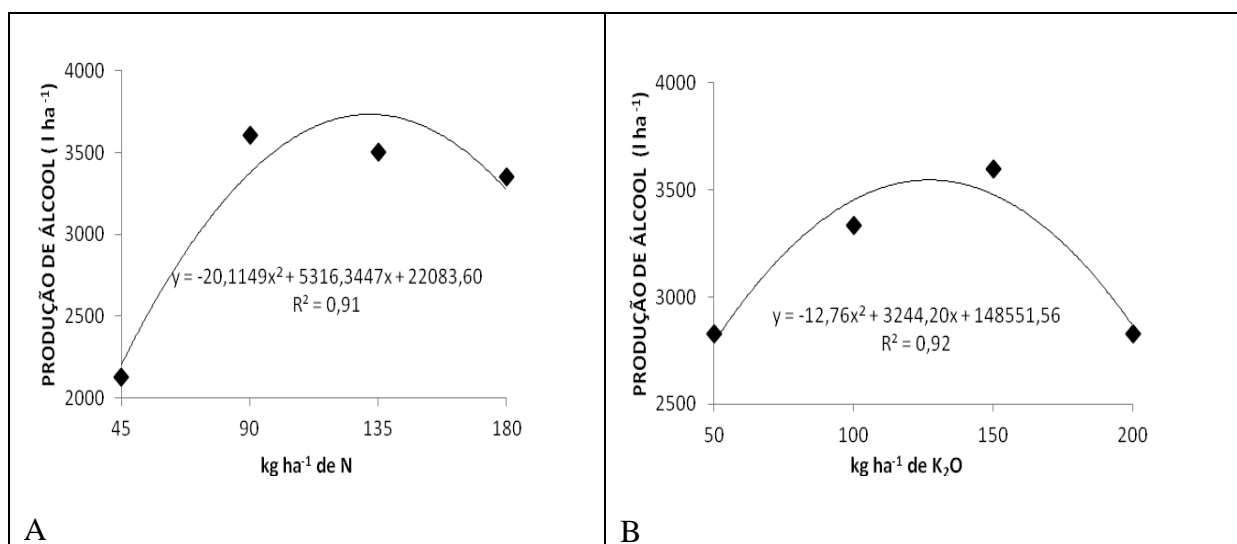


Figura 12: Produção de álcool de sorgo sacarino (l ha^{-1}) em função das doses de N, considerando quatro doses de K_2O (50, 100, 150 e 200 kg ha^{-1}), A; e em função das doses de K_2O considerando quatro doses de N (45, 90, 135 e 180 kg ha^{-1}), B. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

Observa-se uma resposta significativa da maioria das características agroindustriais analisadas para o aumento das doses de nitrogênio em cobertura, o que não ocorreu para todas as características quanto ao acréscimo das doses de potássio. Entretanto, evidencia-se que é necessária uma boa dose de potássio em cobertura, cerca de 130 kg ha^{-1} , mesmo o solo apresentando um teor alto desse nutriente.

CONCLUSÕES

O sorgo sacarino respondeu à adubação nitrogenada e potássica em cobertura, sendo que adubação nitrogenada interferiu mais nas diversas variáveis analisadas em relação ao potássio.

O melhor desempenho do sorgo sacarino, considerando a produção de litros de etanol por hectare, toneladas de Brix por hectare, litros de etanol por tonelada de massa verde, teor de sacarose e açúcar redutor total foi obtido com o uso de doses altas de N e K_2O em cobertura (cerca de 120 e 130 kg ha^{-1} , respectivamente).

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Iran Dias Borges, pela confiança, disponibilidade e apoio; à UFSJ pela oportunidade de realizar o curso de Pós-graduação; à Embrapa Milho e Sorgo de Sete Lagoas, em especial aos pesquisadores Flávia Cristina dos Santos e Rafael Augusto da Costa Parrella, pelo apoio e incentivo a pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2009. Disponível em: <www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_138_22122006154842.html>. Acesso em: 17 jan 2016.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, R. A. C. GUIMARÃES, A. S.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, K. M. J. Sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidade de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.1, p. 69-85, 2012.

ALVES, A. C.; BRAUNER, J. L.; CORDEIRO, D. S. ZONTA, E. P.; CORREA, L. A. V. Exigências nutricionais em potássio, cálcio e magnésio do sorgo sacarino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 23, n. 5, p.529-536,1988.

ARAUJO, C. Evolução do sorgo sacarino para produção de etanol é viável. *Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, MG, ed.40, 2012. Disponível em: www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1484977/evolucao-do-sorgo-sacarino-para-producao-de-etanol-e-viavel. Acesso em: 08 fev 2016.

BORÉM A.; PIMENTEL L.; PARRELLA R. **Sorgo: do plantio à colheita**. Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, MG: Ed UFV, 2014. 275 p.

BORGES, I. D.; FRANCO, A. A. N.; KONDO, M. K.; TEIXEIRA, E. C.; LARA, J. P.; MARTINS, D. C. Absorção de nutrientes na cultura do sorgo granífero. 2016. No prelo.

CONSECANA. Manual de Instruções do Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. 5ª. ed. Piracicaba, SP, 2006, 112 p.

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**, Brasília, n. 3, p. 14-52, 2011.

DURÃES, N. N. L.; NUNES, J. A. R.; PARRELLA, R. A. C.; BRUZI, A. T.; LOMBARDI, G. M. R.; FAGUNDES, T. G. Eficiência da Utilização do Índice Multiplicativo TBH na seleção de Genótipos de Sorgo Sacarino. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30., 2014, Salvador. Anais. Salvador, 2014.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 36p. (Circular Técnica, 186). Disponível em <www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/966886/1/circ186.pdf>. Acesso em: 12 dez 2014

EMBRAPA MILHO E SORGO. Dados climáticos. 2015. Disponível em: <www.cnpms.embrapa.br>. Acesso em mai 2015.

EMYGDIO, B. M.; AFONSO, A. P. S.; OLIVEIRA, A. C. B.; PARRELLA, R. SCHAFFERT, R. E.; MAY, A. **Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes densidades de plantas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011, 22 p. (Embrapa Clima temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 156).

FERREIRA, D. F. **SISVAR para Windows 4.3**. Lavras: UFLA, 2003. Software

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. 78 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semi-Árido). Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba,

GIACOMINI, I.; SIQUEIRA, F. L. T.; PEDROZA, M. M.; MELLO, S. Q. S.; CERQUEIRA, F. B.; SALLA, L. Uso Potencial de Sorgo Sacarino para a Produção de Etanol no estado do Tocantins. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.5, n.3, p.73-81, 2013.

LEMÕES, L. S.; PANZIERA, W.; HARTE, A.; VERISSIMO, M. A. A.; SILVA, S. D. A. Avaliação da produtividade de genótipos de cana-de-açúcar cultivadas no município de Pelotas-RS, safra 2010-2011. In: XX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 2011, Pelotas.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p. (EMBRAPA-CNPMS. Comunicado técnico, 87).

MAPA, INSTITUTO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Nacional de Agroenergia: 2006 - 2011**. Brasília, DF. 110 p.2. Embrapa Informação Tecnológica. Disponível em: <www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/planos%20e%20programas/PLANO%20NACIONAL%20DE%20AGROENERGIA.pdf>. Acesso em: 02 dez 2014.

MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. (Ed.). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G - Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. p. 92- 106. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos 139).

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Potassium in crop production. **Advances in Agronomy**, New York, v.33, p.59-110, 1980.

NELSON, N. A fotometric adaptation of Somogy method for the determination of glucose. **Jornal of Biologic Chemistry**. Cincinnati, v.153, p. 375-380, 1944.

OLIVEIRA, R. P.; FRANÇA, A. F. S.; FILHO, O. R.; OLIVEIRA, E. R.; ROSA, B.; SOARES, T. V.; MELLO, S. Q. S. Características agrônômicas de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob três doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n.1, p.45-53, 2005.

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

ORTEGA, E.; WATANABE, M.; CAVALETT, O. A produção de etanol em micro e minidestilarias. 2006. Disponível em:<www.unicamp.br/fea/ortega/MarcelloMello/mini-usina-Ortega.pdf>. Acesso em jun 2016

PARENTE, H. N.; JUNIOR, O. R. S.; BANDEIRA, J. R.; PARENTE, M. O. M.; RODRIGUES, R. C.; ROCHA, K. S.; GOMES, R. M. S. Produtividade do sorgo forrageiro em função de quantidades crescentes de adubação fosfatada e nitrogenada. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v.8, n.1, p.01-10, 2014.

PARRELLA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

PEREIRA FILHO, I. A.; PARRELLA, R. A. C.; MOREIRA, J. A. A.; MAY, A.; SOUZA, V. F.; 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**, Sete Lagoas, v.12, n.2, p. 118-127, 2013.

RESENDE A. V.; COELHO, A. M.; RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. C. **Adubação maximiza o potencial produtivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009, 8p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular técnica, 119).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, 359p.

RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. G.; SCHAFFERT, R. E.; FERREIRA, A. S.; CASELA, C. R.; TARDIN, F. D. **BRS 655: híbrido de sorgo forrageiro para produção de silagem de alta qualidade**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 2 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 107).

ROSOLEM, C. A.; MAVOLTA, E. Exigências nutricionais do sorgo sacarino. In: Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba **Anais**. Piracicaba, v. 38, 1981, p. 257-268.

ROSOLEM, C. A.; MALAVOLTA, E.; BRINHOLI, O.; SERRA, G. E. Respostas do sorgo sacarino a N, P e K II. Características tecnológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.3, p.385-391, 1982.

SANDEEP, R. G.; GURURAJA RAO M. R.; RAMESH S.; CHIKKALINGAIAH; SHIVANNA, H. Parental combining ability as a good predictor of productive crosses in sweet

sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Journal of Applied and Natural Science**, India, v. 2, n. 2, p. 245-250, 2010.

SANTOS, F. C.; COELHO, A. M.; RESENDE, A. V.; MIRANDA, R. A. Correção do solo e adubação na cultura do sorgo. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 76-88, 2014.

SANTOS, F. C.; RESENDE, A. V. ALBUQUERQUE FILHO, 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, 2015, 35 p. (Embrapa Milho e Sorgo, Boletim de Pesquisa e desenvolvimento, 130). Disponível em: <www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1037738>. Acesso em 05 fev 2016.

SOUZA, V. F.; PARRELLA, R. A. C.; PORTUGUAL, A. F.; TARDIN, F. D. DURÃES, N. N. L.; SCHAFFERT, R. E. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em duas épocas de plantio no norte de Minas Gerais visando à produção de etanol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6, 2011, Búzios: **Anais**. Búzios: SBMP, 2011. 1 CD-ROM.

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.

URIBER, R. A. M.; TICIANELI, L. C. S. Influência do estande na produtividade de sorgo sacarino. **Revista Diálogos & Ciência**. Salvador, v.34, p.10-12, 2014.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C. **Cultura do sorgo**, Lavras: UFLA FAEPE, 2002, 76 p.

ZEFERINO, G. L. **Análise de Cultivares de Sorgo para extração de etanol e produção de silagem**. 2015. 58. Dissertação (Mestrado em Engenharia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

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, p. 55-64, 2009.

WANG, M. L.; ZHU, C.; BARKLEY, N. A.; CHEN, Z.; ERPELDING, J. E.; MURRAY, S. C.; TUINSTRA, M. R.; PEDERSON, G. A.; YU, J. Genetic diversity and population structure analysis of accessions in the US historic sweet sorghum collection. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 120, n.1, p. 13-23, 2009.

ARTIGO 2

DESEMPENHO FORRAGEIRO DO SORGO SACARINO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO EM COBERTURA

RESUMO – O sorgo sacarino possui características que lhe oferecem capacidade para ser utilizado na alimentação animal. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho forrageiro da cultivar de sorgo sacarino BRS 511 submetida a diferentes doses de N e K₂O em cobertura, conduzida em sistema de sequeiro na região Central de Minas Gerais. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com 3 repetições, e tratamentos dispostos em esquema fatorial 4 x 4, sendo 4 doses de nitrogênio (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹) x 4 doses de potássio (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹). As características avaliadas foram: massa verde, massa seca, massa seca total, rendimento de massa seca, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, lignina, proteína bruta, conteúdo celular. A cultivar BRS 511 é, quantitativamente e qualitativamente, uma excelente alternativa de planta forrageira em regiões com risco de déficit hídrico na fase vegetativa. As produções de massa forrageira verde e massa forrageira seca são influenciadas pela adubação. A massa seca total cresce linearmente com o aumento da dose de K₂O em cobertura e o rendimento de massa seca cresce linearmente com o aumento da dose de N em cobertura.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, adubação, forragem.

FORAGE PERFORMANCE OF SORGHUM SACCHARINE SUBMITTED TO DIFFERENT DOSES OF NITROGEN AND POTASSIUM COVERAGE

ABSTRACT – The sweet sorghum, or sorghum saccharine, has features that gives it ability to be used in animal feed. The objective of this study was to evaluate the performance of forage sorghum saccharine cultivar BRS 511 subjected to different doses of N and K₂O in coverage, conducted in dryland system in the Central region of Minas Gerais. The design was a randomized block design with three replications and treatments arranged in a factorial 4 x 4, with four nitrogen rates (45, 90, 135 and 180 kg ha⁻¹) x 4 potassium doses (50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹). The characteristics evaluated were fresh weight, dry weight, total dry weight, dry matter yield, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, lignin, protein, cellular content. The BRS 511 is quantitatively and qualitatively an excellent alternative forage crop in regions at risk of drought in the vegetative stage. The forage mass production and green forage dry matter are influenced by fertilization. The total dry weight increases linearly with increasing dose K₂O cover and the dry matter yield increases linearly with increasing N rate coverage.

Key words: *Sorghum bicolor*, fertilizer, forage.

INTRODUÇÃO

A planta de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) possui cinco tipos diferentes e se destaca com diversos usos, independentemente de sua morfologia: sorgo granífero (produção de grãos), forrageiro (produção de massa para ensilagem), biomassa (produção de biomassa lignocelulósica), vassoura (produção de vassouras) e o sacarino (produção de etanol), sendo capaz de atender diversas necessidades (Embrapa, 2013).

Dentre os tipos comerciais de sorgo, o sorgo sacarino vem despontando como alternativa para a produção de energia e na alimentação animal. O uso desses genótipos é justificado por ter ciclo de produção entre 100 a 120 dias, alto teor de sacarose nos colmos, alta produção de massa, uma flexibilidade quanto ao clima (Durães, 2011), exigindo temperaturas superiores a 21 °C e sendo mais tolerante ao déficit de água e excesso de umidade no solo do que outros cereais (Magalhães et al. 2003), menor custo de produção, capacidade de recuperação após veranicos e sendo, inclusive, fenotipicamente semelhante ao sorgo para silagem (Durães, 2011).

Em geral, a cultura do sorgo é utilizada para produção de forragem em situações e regiões em que a temperatura mais alta e o déficit hídrico oferecem riscos ao bom desempenho de outras culturas, como o milho. Entretanto, a rebrota do sorgo é também uma excelente vantagem para aumentar a produção, permitindo obter altos rendimentos de forragem, sendo a potencialidade forrageira um ponto forte dessa cultura para a pecuária bovina.

Comparativamente ao milho, o sorgo forrageiro produz quantidade adequada na fração fibrosa que otimiza a fermentação ruminal, visto que a fibra contribui para o enchimento do rúmen perante outros componentes nutricionais da dieta. Depois do milho, o sorgo é considerado a cultura anual mais importante para a produção de silagem, tanto pelo desempenho qualitativo quanto quantitativo da forragem proporcionada, e a semelhança morfológica e fenotípica do sorgo sacarino. A produção de massa verde do sorgo sacarino pode ser comparada ao sorgo forrageiro com rendimento de 50 a 60 t ha⁻¹, aliada à produção de massa seca, o sorgo forrageiro produz de 15 a 18 t ha⁻¹ enquanto o sacarino produz de 15 a 20 t ha⁻¹ (Rodrigues et al. 2008; Parrella et al. 2011). A espécie do sorgo possui adaptação para ambientes com estresses abióticos, em especial, quanto à temperatura do ar e umidade do solo. Por essas características, a cultura responde bem ao manejo e ao incremento de tecnologias no solo, cultivar, adubação, tratamentos culturais, dentre outras. Nesse contexto, os trabalhos realizados com manejo de sorgo sacarino são poucos, porém percebe-se que ao

potencial de produção da cultura pode estar diretamente influenciado pela estratégia de adubação adotada.

O nitrogênio e potássio são os nutrientes que a planta de sorgo necessita em maior quantidade para expressão do seu potencial genético (Souza e Fernandes, 2006; Meurer, 2006), porém, isso é muito dependente das condições climáticas. A melhor forma de aplicação desses nutrientes deve ser parcelada a fim de se evitar perdas por lixiviação, volatilização ou percolação, garantindo suprimento na época de maior demanda pela cultura. Sem a quantidade correta de nutrientes, a planta apresenta sintomas de deficiência que prejudicam seu desenvolvimento e conseqüentemente sua produtividade (Souza e Fernandes, 2006; Meurer, 2006).

O sorgo do tipo sacarino possui uma quantidade maior de sacarose no caldo, sendo que essa sacarose armazenada no colmo apresenta um teor de açúcar de aproximadamente 21% de massa seca, enquanto que em outros tipos de sorgo o teor se situa ao redor de 5 a 11%. Esse alto teor de açúcar é desejável para uma boa fermentação contribuindo para a adequada qualidade no caso da produção de silagem.

O grande uso do milho e do sorgo na produção de silagens se deve a características como o alto conteúdo de energia, facilidade de mecanização na ensilagem e alta produção de massa seca por ha⁻¹. No entanto, no processo de ensilagem, a massa seca deve ser um fator determinante a ser considerado, em especial para o tipo de fermentação, e está indiretamente ligada com o teor de umidade do material a ser ensilado (Zago, 2001). Isso deve ser de grande importância para reduzir ao máximo as perdas que ocorrem nas reações químicas durante o armazenamento, interferindo assim, no valor nutritivo da forragem. Em material muito úmido pode ocorrer outro tipo de fermentação que leva a perda de nutrientes da alta digestibilidade, sendo necessário se ter uma massa seca entre 30 a 35% (Santos et al. 2010).

O aumento da produção de massa seca acontece com o desenvolvimento dos estádios da cultura, de modo que altera a massa seca de cada parte da planta, colmo, folha e panícula do sorgo. Desse modo, o teor de massa seca é diferente nos diversos tipos de sorgo. Oliveira et al (2009), trabalhando com sorgo forrageiro, encontraram 27,4% para a cultivar forrageira 0369267, enquanto para o sorgo sacarino Uriber e Ticianeli (2014) encontraram cerca de 23% de massa seca. O teor de massa seca é diferente, porém seus valores se encontram muito próximos.

A ausência do teor de tanino, substância antinutricional presente em plantas de sorgo, é uma característica importante a ser observada pela redução na digestibilidade da matéria

seca (Fialho et al., 2002), por isso a colheita, deve ter uma enorme importância, sendo realizada de acordo com a maturidade esperada, que pode ser de grãos, biomassa ou açúcares (Carvalho, 2013) para que o tanino não interfira no valor nutritivo da silagem. Contudo, deve-se considerar que os genótipos de sorgo disponíveis no mercado, inclusive os sacarinos, são, na prática, sem tanino.

Após a extração do caldo do sorgo sacarino para a produção de etanol, o bagaço dos colmos, as folhas e os grãos podem produzir uma forragem com valor nutricional que atenda às exigências do animal e boa palatabilidade que induz um consumo voluntário na dieta. Essa alimentação pode ser fornecida *in natura*, picada, no cocho ou fornecida como silagem (Embrapa, 2005). Assim, o colmo após passar pelo processo de extração de seu caldo, serve ainda como fonte de energia calorífica para a indústria além de alimentação animal juntamente com as folhas e panículas (Lourenço et al. 2010).

Tenho em vista a importância da forragem como base da alimentação animal, o teor de massa seca e a qualidade da fibra na forragem estão relacionados com ingestão e digestibilidade dessa forragem. Assim, é importante conhecer características da forragem do sorgo sacarino, como Massa Verde, Massa Seca, FDN, FDA, Conteúdo Celular, Lignina e Proteína Bruta, já que existe uma enorme variabilidade genética em torno de cada cultivar ou de cada espécie forrageira. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho forrageiro do sorgo sacarino (BRS 511) submetido a diferentes doses de nitrogênio e de potássio em cobertura na região Central de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em área experimental da Universidade Federal de São João del-Rei, no campus de Sete Lagoas – MG. A área está localizada em terreno limítrofe a Embrapa Milho e Sorgo com as coordenadas geográficas 19° 28' 36" de latitude sul e 44° 11' 53" de longitude oeste, altitude de 769 m. O experimento foi instalado em Latossolo Vermelho Distrófico, com as seguintes características, antes da condução do experimento: pH em água = 5,8; P-Mehlich 1 = 52,04 mg dm⁻³; H +Al = 4,41; Ca = 5,95; Mg = 0,88; Al = 0,01; SB = 8,24; CTC = 12,65 (cmol_c dm⁻³); K = 551,2 ; Cu= 0,73; Fe = 41,45; Mn= 69,72; Zn = 4,08 (dag kg⁻¹); matéria orgânica = 4,73 (dag kg⁻¹); V = 65,13% ; Sat. Al = 0,12%; carbono = 2,75 (dag kg⁻¹).

O clima local segundo Köppen (Ometto, 1981) é do tipo AW (tropical estacional de savana, inverno seco), temperatura média anual 22,1 °C e precipitação média anual 1.290

mm. Os dados climáticos observados no período experimental (nov/2014 a abr/2015) foram: temperatura média 23,62 °C; umidade relativa média 70,17%; precipitação total 1.057,7 mm; insolação média 7 horas dia⁻¹ (Embrapa, 2015). Os dados climáticos por decêndio durante o período experimental (temperatura média, precipitação total, insolação média e umidade relativa média) se encontram na Figura 1.

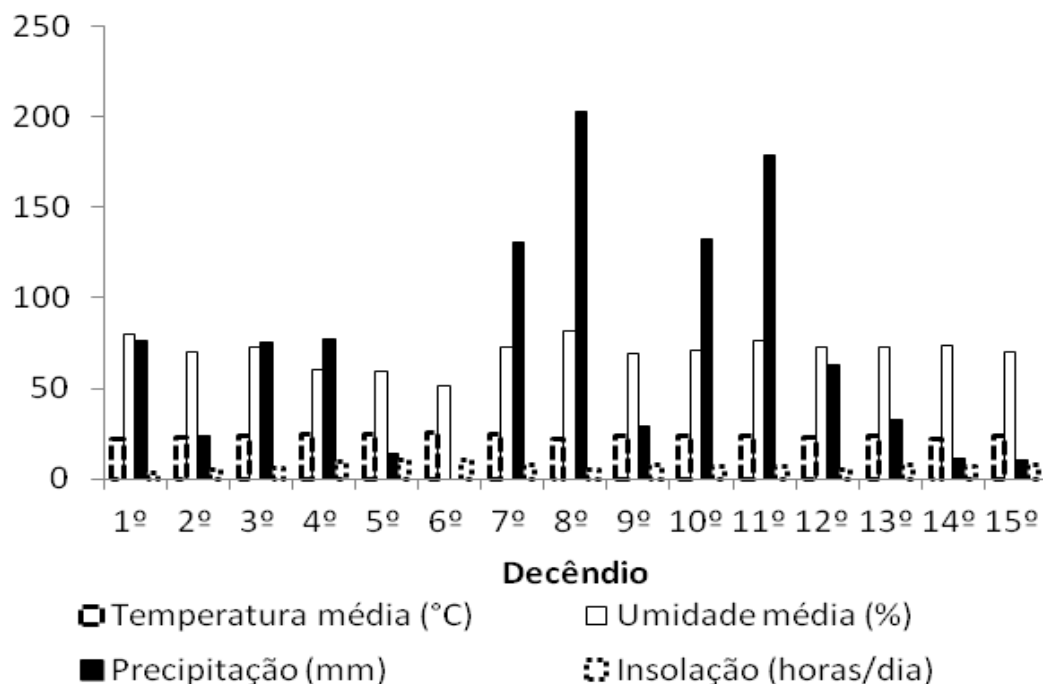


Figura 1: Dados climáticos, por decêndio (24/nov/2014 a 23/abr/2015) durante o período experimental. Temperatura média (°C), precipitação total (mm), insolação total (horas/dia) e umidade relativa média (%). Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG.

O experimento foi instalado no período primavera/verão dos anos 2014/2015. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 3 repetições, e tratamentos dispostos em esquema fatorial 4 x 4, sendo 4 doses de nitrogênio (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹) x 4 doses de potássio (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) em cobertura, totalizando 48 parcelas para avaliações.

No preparo do solo da área experimental foi utilizada grade aradora, grade niveladora e sulcador, um dia antes da semeadura, para marcação das linhas de plantio para semeio manual. A cultivar de sorgo sacarino utilizada foi a BRS 511, recomendada para as condições edafoclimáticas da região Central de Minas Gerais. Esta foi semeada em parcelas com quatro fileiras de cinco metros cada e espaçadas de 0,70 metros. A semeadura foi realizada em 5 de dezembro de 2014 e a emergência ocorreu em 11 de dezembro 2014, sendo definida em

função da época de estabelecimento do início do período chuvoso; isso permitiu colheita ainda na entressafra da cana-de-açúcar.

O desbaste foi feito aos oito dias após a emergência, com o objetivo de manter uma população de 7 plantas m^{-1} ou 100.000 plantas ha^{-1} . O controle de plantas daninhas foi realizado em pós-emergência do sorgo, aos 8 e 19 dias após a emergência (DAE) com uma capina manual e aos 22 dias após a emergência com o uso de Atrazina na dosagem de 4,0 l ha^{-1} . Para o controle dos insetos, foi aplicado o inseticida Keshet na dosagem de 250 ml ha^{-1} , aos 22 dias após a emergência e aos 33 DAE foi aplicado o inseticida Match, na dosagem de 250 ml ha^{-1} .

A correção do solo com calagem não foi necessária, e em todos os tratamentos, a adubação de semeadura foi de 350 kg ha^{-1} da fórmula N-P-K 08-28-16, considerando resultados da análise química do solo e uma expectativa de produção acima de 60 t ha^{-1} de massa verde (Ribeiro et al., 1999). A adubação de cobertura foi realizada aos 26 dias DAE, quando as plantas apresentavam 5 folhas completamente desenvolvidas. O florescimento do sorgo ocorreu entre os 87 e 90 DAE.

A colheita de material vegetal de cada parcela aconteceu no período de 110 a 117 DAE, sendo as plantas cortadas manualmente e rente ao solo nas duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de bordadura. O material colhido foi pesado e os valores obtidos, transformados em kg ha^{-1} para a obtenção da massa verde da planta inteira (colmo, folhas e panícula). Posteriormente retiraram-se seis plantas ao acaso que foram picadas em uma ensiladeira estacionária e homogeneizados em uma betoneira acoplada ao equipamento e deste material foram retiradas e pesadas amostras de cerca de 450 gramas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante. Em seguida, as plantas foram pesadas e processadas em moinho Willey (peneira com malha de 1 mm) e acondicionadas em sacos de polietileno para posterior envio às análises laboratoriais.

Foram realizadas, posteriormente, as análises bromatológicas no laboratório de composição centesimal da Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas-MG. Segue a descrição das metodologias para obtenção das características avaliadas:

a) Massa verde (MV): pesagem das plantas colhidas na área útil da parcela, em balanças tipo dinamômetro. Os valores obtidos foram expressos em t ha^{-1} .

b) Massa seca (MS): pré-secagem de amostras de cerca de 450 gramas do material fresco em estufa com ventilação forçada de ar a 65 °C até peso constante, e pesagem em balança analítica. O peso resultante, com base na massa verde obtida, foi expresso em t ha^{-1} .

- c) Massa seca total em % (MST): após determinação de massa seca a 105 °C, a massa seca total é determinada pela fórmula: $MST = (\% \text{ massa seca } (65 \text{ } ^\circ\text{C}) \times \% \text{ massa seca } (105 \text{ } ^\circ\text{C})) / 100$.
- d) Rendimento de massa seca (REND MS): determinado pela fórmula: $REND MS = (\text{massa verde } (t \text{ ha}^{-1}) \times \text{massa seca total } (\%)) / 100$.
- e) Fibra em detergente neutro em % (FDN): determinada pela metodologia de Ankon (2006).
- f) Fibra em detergente ácido em % (FDA): determinada pela metodologia de Ankon (2006).
- g) Lignina: determinado pela metodologia de Ankon (2010).
- h) Proteína Bruta: determinada pelo aparelho instrumental LECO através da dosagem do nitrogênio total, com posterior correção multiplicando-se pelo fator de conversão 6,25 (Salman et al. 2010).
- i) Conteúdo celular em % (CONT CEL): determinado pela metodologia de Salman et al, (2010).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e quando ocorreram diferenças significativas, identificadas pelo teste F ($P < 0,05$), foi aplicado o modelo de regressão com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2003). Os modelos para ajuste das equações foram escolhidos com base no coeficiente de determinação e na sua significância. Também para as interações significativas utilizou-se o programa SAS 9.3 (Statistical Analysis System) para obtenção e visualização da superfície de resposta das variáveis em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo das análises de variância, para as características avaliadas, está apresentado na Tabela 1. Observou-se que houve efeito significativo das doses de nitrogênio sobre massa verde, massa seca e rendimento de massa seca. Efeito significativo das doses de potássio ocorreu apenas para massa seca total. As variáveis fibra em detergente neutro e conteúdo celular apresentaram efeito significativo para a interação N * K₂O. Observou-se ausência de resposta significativa da maioria das variáveis avaliadas, excetuando MST, às doses crescentes de potássio.

Tabela 1: Resumo das análises de variância Massa Verde (MV) e Massa Seca (MS), em t ha⁻¹, Massa Seca Total (MST) em %, Rendimento de Massa Seca (REND MS), em t ha⁻¹, Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA), Lignina (LIG), Proteína Bruta (PB), Conteúdo Celular (CONT CEL) em %, de sorgo sacarino (BRS 511), em função das doses de N e K₂O em cobertura. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

FV	GL	Quadrado médio								
		MV	MS	MST	REND MS	FDN	FDA	LIG	PB	CONT CEL
N	3	406,28*	61,33*	18,00 ^{NS}	5,18*	2,76 ^{NS}	11,60 ^{NS}	2,02 ^{NS}	0,55 ^{NS}	2,76 ^{NS}
K	3	118,21 ^{NS}	20,81 ^{NS}	56,39*	18,26 ^{NS}	1,57 ^{NS}	1,78 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,105 ^{NS}	1,57 ^{NS}
N x K	9	30,04 ^{NS}	15,63 ^{NS}	32,40 ^{NS}	12,85 ^{NS}	50,12*	35,75 ^{NS}	0,57 ^{NS}	0,84 ^{NS}	50,12*
Bloco	2	3332,63	234,05	8,89	191,76	8,68	0,28	1,16	0,81	8,68
Erro	30	96,79	16,97	18,09	14,24	19,28	17,79	0,95	0,53	19,28
CV (%)		21,51	33,80	17,44	33,56	9,63	12,81	20,52	13,57	8,08
Média		45,73	12,18	24,38	11,24	45,62	32,92	4,75	5,36	54,37

* significativo a 5%; NS não significativo pelo teste t.

A produtividade de massa verde teve comportamento quadrático em função do aumento das doses de nitrogênio em cobertura (Figura 2), com máximo valor, estimado pela equação de regressão, obtido com 146,1 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Quando não se realiza adubação nitrogenada em cobertura, há uma redução acentuada na massa verde, entretanto, observou-se que por volta da dose de 90 kg ha⁻¹ os incrementos na massa verde foram mínimos. Entretanto, Rodrigues Filho et al. (2006) constataram diferenças sobre o potencial produtivo de híbridos de sorgo forrageiro ao utilizar doses crescentes de nitrogênio (50, 75, 100 kg ha⁻¹) e encontraram média para matéria verde de 59,31 t ha⁻¹. Contudo, os autores contemplaram doses até um valor máximo menor que o deste trabalho (50 a 100 kg ha⁻¹ em detrimento a 45 a 180 kg ha⁻¹), mas, se considerarmos o intervalo de 45 a 90 kg ha⁻¹, o comportamento é semelhante com acréscimo na MV com aumento das doses de N. Isso permite inferir que há uma máxima dose de N em cobertura para o incremento na MV de sorgo sacarino (BRS 511), a partir de quando não ocorrem mais ganhos e/ou há decréscimos (Figura 2).

Com relação à média geral de massa verde obtida neste trabalho foi encontrada 45,73 t ha⁻¹ com valores oscilando entre 37,04 e 48,45 t ha⁻¹, média aceitável de acordo com Valente et al. (1997) que afirmam que a produção mínima deve ser de 40 t ha⁻¹ para não se tornar inviável economicamente, colocando assim o BRS 511 como alternativa de planta forrageira. Porém, esse valor obtido é ainda inferior à meta de produtividade estabelecida pelo programa de melhoramento genético de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) da Embrapa que busca uma produtividade mínima de biomassa de 60 t ha⁻¹ (Durães et al. 2012). Já Pereira

Filho et al. (2013), trabalhando com diferentes cultivares (BR 501; 505; 506; 507 e 601), densidades (75, 100, 125, 150 e 175 mil plantas ha⁻¹) no espaçamento de 0,7 m e adubação de 300 kg ha⁻¹ de NPK 08-28-16 + Zn no plantio e 200 kg ha⁻¹ de N (ureia) em cobertura, em Sete Lagoas, obtiveram 73,99 t ha⁻¹ como média de produção de massa verde; neste trabalho destaca-se a cultivar BR 506 que obteve a maior produção (86 t ha⁻¹) seguida pela cultivar BR 505 (78,7 t ha⁻¹); com relação à densidade, os resultados apresentaram que o peso da massa verde aumentou linearmente com o aumento da densidade de plantas.

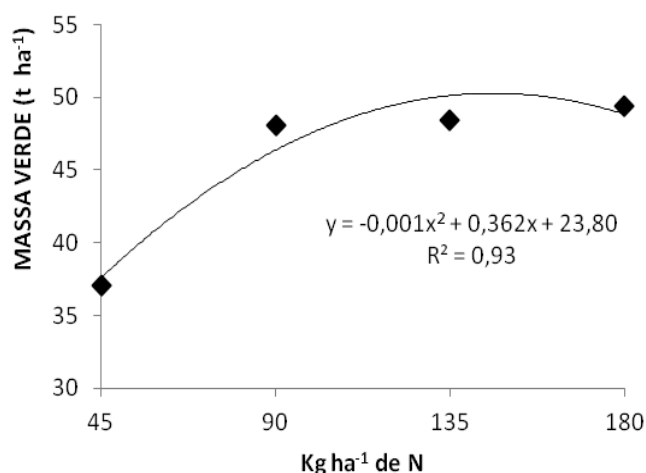


Figura 2: Produtividade de massa verde de sorgo sacarino (t ha⁻¹) em função das doses de N, considerando quatro doses de K₂O (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

A produtividade de massa seca teve comportamento linear e crescente em função das doses de N (Figura 3). Sendo que para o aumento de 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado em cobertura há um acréscimo de 0,34 kg de massa seca. Os valores observados neste trabalho foram em média 12,19 t ha⁻¹ e oscilaram entre 9,02 e 14,36 t ha⁻¹ de MS. Orrico Junior et al. (2015) em estudo realizado com a mesma cultivar deste trabalho, adubação em cobertura (500, 100 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio e de cloreto de potássio, respectivamente) e 155 mil plantas ha⁻¹, colheita com 28% de massa seca e obtiveram 23,23 kg ha⁻¹ de massa seca, sendo que essa diferença pode em parte ser explicada pela densidade de plantas, muito maior que a adotada. Já Oliveira et al (2009) observaram que a massa seca diferiu quanto às doses de nitrogênio e híbridos de sorgo forrageiro, obtendo a maior média de 25,8% na dose de 120 kg ha⁻¹ de N aplicado.

Quando se diz respeito à massa seca, assim como para MV, é importante destacá-la como uma das características de viabilidade econômica para a produção de silagem (Valente

et al.1997). Maranville e Madhavan (2002) relatam que o sorgo pode produzir cerca de 20 t ha⁻¹ de matéria seca apenas com a reserva de N do solo, contudo, tal afirmação deve ser antes de ser adotada considerar o aporte deste nutriente no solo, o teor de matéria orgânica e as estratégias de manejo e rotação de culturas na área.

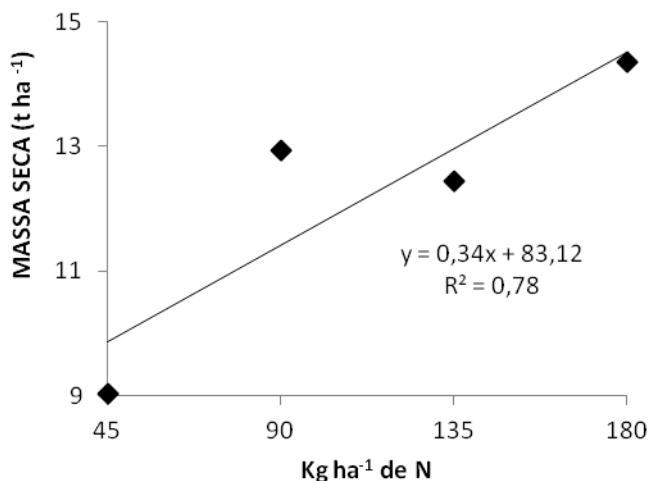


Figura 3: Produtividade de massa seca de sorgo sacarino (t ha⁻¹) em função das doses de N em cobertura, considerando quatro doses de K₂O (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

A produtividade de massa seca total teve um comportamento linear e crescente em função das doses de potássio (Figura 4), sendo que para o aumento de 1 kg ha⁻¹ de potássio há um acréscimo de 0,030% na massa seca total. Os valores de massa seca total observados neste trabalho oscilaram entre 21,72 e 26,45%, valores estes, como resultado do produto da matéria seca obtida a 65 °C e a obtida a 105 °C. Neste trabalho não foi observado resposta significativa para diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura.

Os teores de MS determinados nessa pesquisa se encontram abaixo do valor ideal preconizado por Paiva (1976), que é de 30% a 35% para plantas forrageiras, no momento da ensilagem. Entretanto, situam-se numa faixa intermediária daquela citada por McDonald et al. (1991), que afirmam que o conteúdo de matéria seca acima de 25%, associado a bom nível de carboidratos solúveis, seria adequado para se produzir silagem de boa qualidade, e isso é característica inerente ao sorgo sacarino e contemplada nos resultados obtidos com a BRS 511 para MST e FDN.

Silva et al. (2012), em trabalho na Paraíba com 25 híbridos de sorgo, utilizaram adubação de plantio (100 kg ha⁻¹ de azoto sob a forma de sulfato de amônio e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sob a forma de superfosfato) e cobertura (azoto, de forma parcelada, 50% aplicado no

processo de desbaste e os restantes 15 dias após o processo de desbaste), sendo que a utilização do potássio não foi feita em razão do alto teor do nutriente no solo assim como neste trabalho, observou-se que o BRS 610 apresentou o menor valor médio de produção de massa seca total 23,43 t ha⁻¹ em comparação aos outros materiais. Os autores explicam que o híbrido BRS610 é utilizado como referência por suas características agrônômicas, porém no experimento não apresentou grãos no momento da colheita pelo ataque de pássaros, conseqüentemente a participação da panícula na massa seca total foi menor em comparação com outros híbridos. Os dados do experimento de Silva et al. (2012) juntamente com seus resultados se assemelham a este trabalho quando se diz da adubação nitrogenada feita em cobertura, do alto teor de potássio no solo e da produção de massa seca total, diferindo apenas quanto a cultivar e a não significância para a adubação nitrogenada, isso mostra o potencial do sorgo para adoção nos sistemas produtivos em ruminantes.

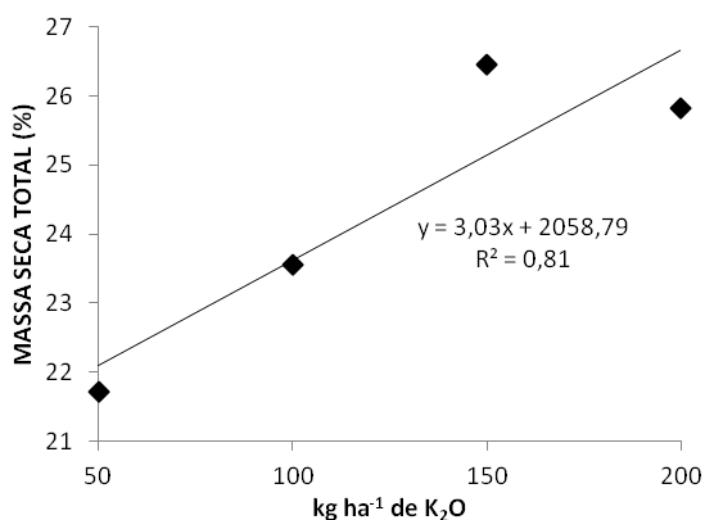


Figura 4: Produtividade de massa seca total de sorgo sacarino (%) em função das doses de K₂O, considerando quatro doses de N (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

O Rendimento de Massa Seca teve comportamento linear e crescente em função do aumento da dose de nitrogênio em cobertura (Figura 5), sendo que para o aumento de 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio há um acréscimo de 0,031 t ha⁻¹ no rendimento da massa seca. Esse aumento no rendimento quanto ao acréscimo das doses de N deve-se ao estímulo no crescimento e perfilhamento, retardamento da senescência e alteração na partição de carbono em prol da parte aérea (Marschner, 1995). Isso pode ser constatado no presente trabalho uma vez que houve um aumento no REND MS quanto ao acréscimo das doses de N, conforme esperado. O REND MS aumenta até a dose de 95 kg ha⁻¹ de nitrogênio, a partir de quando o aumento é

pouco significativo. Os valores de REND MS observados neste trabalho foram em média 11,25 t ha⁻¹ e oscilaram entre 8,33 e 13,18 t ha⁻¹.

Essa característica diz respeito a quanto da biomassa vegetal fresca é realmente matéria seca que será objeto de trabalho do trato digestivo dos animais. Assim, o REND MS nos dá a real estimativa do que uma planta forrageira pode quantitativamente oferecer de alimento aos animais e, somado a outras características, provisionar o ganho animal com uma determinada dieta. Alcântara et al. (2011) em experimento com o híbrido Volumax (forrageiro) em Lavras com diferentes épocas de semeadura, adotaram adubação de 20, 80 e 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O no plantio e 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura (sulfato de amônio, supersimples e o cloreto de potássio, respectivamente) e obtiveram o maior REND MS (16,47 t ha⁻¹) na semeadura realizada em 30 de outubro. Na semeadura realizada em 30 de novembro, época mais próxima ao plantio deste trabalho, obtiveram-se média de REND MS de 11,60 t ha⁻¹, o que se assemelha a média de produção obtida com a cultivar sacarina neste trabalho. Desse modo, pode-se dizer que, tanto para sorgo forrageiro quanto para o sorgo sacarino, o REND MS é semelhante se plantados na mesma época. Assim, neste trabalho, mesmo que a cultura do sorgo tenha passado por um período de déficit hídrico no seu desenvolvimento vegetativo, é importante destacar seu desempenho satisfatório, destacando-o como uma opção de uso em ambientes inadequados para outras espécies que tenham uma exigência maior de água.

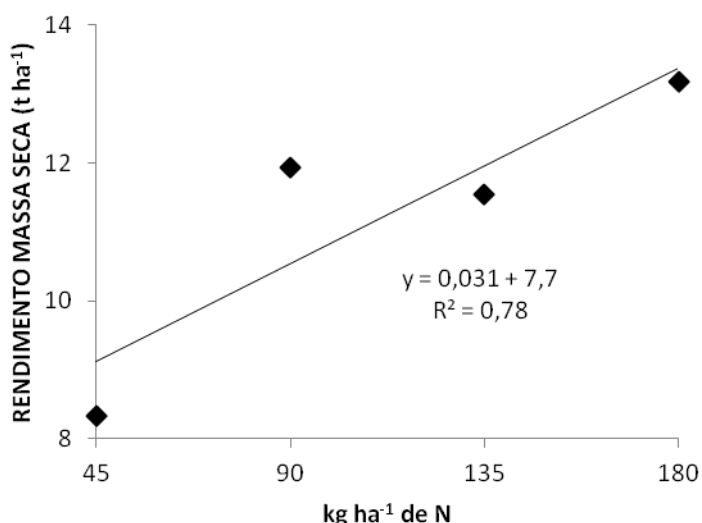


Figura 5: Rendimento de massa seca de sorgo sacarino (t ha⁻¹) em função das doses de N, considerando quatro doses de K₂O (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

Para a fibra em detergente neutro, a interação N*K foi significativa, com equação de curva de resposta descrita a seguir: $FDN = 42,2725 + 0,0306 * N + 0,03 * K_2O - 9,8717E^{-5} * N * N - 1,7724E^{-5} * N * K_2O - 0,0001 * K_2O * K_2O$. Assim, as melhores relações de doses de N e K que promovem menor FDN seriam 40 a 100 kg ha⁻¹ de N e até 80 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 6). Essas são doses relativamente baixas comparadas à boa produção de massa do sorgo sacarino BRS 511, permitindo inferir que são satisfatórias em uma estratégia de adubação em cobertura com e N e K₂O com alta tecnologia.

A determinação das frações fibrosas é muito importante na caracterização de forragens quanto ao seu valor nutritivo e dentre essas frações se encontra a FDN, que é uma característica diretamente relacionada à velocidade de passagem do alimento no rúmen, e quanto menor o valor de FDN, maior o consumo de massa seca, ou seja, maior ingestão de alimento para aumento do peso do animal.

A FDN determinada nesse trabalho foi de 45,62%, estando de acordo com Van Soest (1994) que comprova a digestibilidade dos materiais e afirma que valores acima de 55 a 60% de FDN se correlacionam negativamente com o consumo de massa seca pelo animal. Assim, pode-se observar que a cultivar de sorgo BRS 511 aqui estudada apresentou valor de FDN dentro da faixa adequada para não limitar o consumo de matéria seca e favorecer a digestibilidade.

Contudo, os valores determinados por Rodrigues et al. (2002) para FDN (64,62%), quando avaliaram o híbrido forrageiro AG 2005 colhido aos 97 dias de crescimento vegetativo, e os de Pedreira et al. (2003), em experimento com oito híbridos e adubação nitrogenada equivalente a 60 kg ha⁻¹ cortado entre 99 e 113 dias, que apresentaram variação de 57,0% a 70,3% para FDN, são superiores aos deste trabalho (45,62%), em que o corte ocorreu na maturação fisiológica (117 dias).

Entretanto, Orrico Junior et al. (2015), trabalhando com a mesma cultivar deste trabalho e adotando uma quantidade de adubação maior, obtiveram FDN menor (41,69%), o que indica que as características de fibra da cultivar BRS511 avaliada neste trabalho seriam adequadas para alimentação animal.

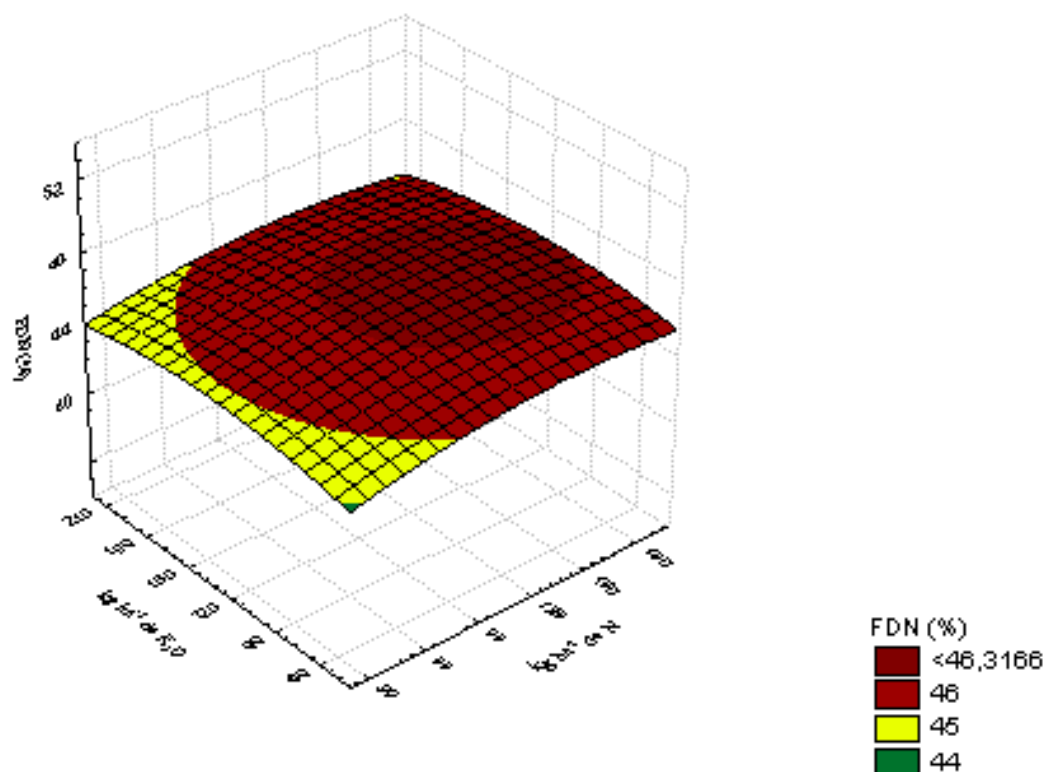


Figura 6: Fibra em detergente neutro de sorgo sacarino (BRS 511) em função da interação das doses de nitrogênio e potássio. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

Para fibra em detergente ácido não houve resposta significativa para as doses de nitrogênio e de potássio aplicadas em cobertura, obtendo-se média de 32,92%. Esses resultados corroboram com Gontijo Neto et al (2004), que também não verificaram resposta significativa em diferentes híbridos de sorgo forrageiro com adubação de 350 kg ha⁻¹ de NPK 06-28-08 no plantio mais 350 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio em cobertura, a média encontrada foi de 25,29 a 31,56%. Contudo, Orrico Junior et al. (2015) com diferentes cultivares, observaram para a BRS 511 o menor valor de FDA (20,86%), com quantidade de adubação indo a valores maiores do que os empregados neste trabalho (450 kg ha⁻¹ de NPK 8-20-20 no plantio e 500, 100 kg ha⁻¹ sulfato de amônio de cloreto de potássio, respectivamente, em cobertura).

Já Rodrigues Filho et al. (2006) verificaram diferença significativa entre os híbridos e adubação, em destaque com a BR 506 que obteve 36,07% de FDA com dose de 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, os valores corroboram com os encontrado por Rodrigues et al, (2011) que dizem que os níveis ideais para as forragens estão em torno de 30% (bom consumo animal) e que níveis acima de 40% de FDA proporcionam menor consumo pelo animal, assim pode-se concluir que a fibra em

detergente ácido é inversamente proporcional à digestibilidade (Van Soest, 1994; Rosa et al. 2004), ou seja, quanto menor o teor de FDA, maior a digestibilidade da massa seca do alimento (forragem) pelo animal, proporcionando maior consumo.

Para lignina não houve resposta significativa para as doses crescentes de nitrogênio e de potássio aplicadas em cobertura. O mesmo foi observado por Oliveira et al. (2009) trabalhando com híbridos de sorgo forrageiro e doses de nitrogênio em que a lignina não mostrou diferença significativa para as doses de N, com valores médios de 8,8%; 8,5%; 8,4% e 8,9% para as doses de 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Neste trabalho, observou-se valor médio de 4,75%, valor este muito maior que os 3,18% encontrados por Orrico Junior et al (2015) com a mesma cultivar e alta quantidade de adubação (450 kg ha⁻¹ de NPK 8-20-20 no plantio e 500, 100 kg ha⁻¹ sulfato de amônio de cloreto de potássio, respectivamente, em cobertura). Já Neumann et al. (2002), avaliando quatro híbridos de sorgo forrageiro (AGX-213, AG-2002, AGX-217 e AG-2005E) em diferentes épocas de maturação, obtiveram teores de lignina de 5,28%, 4,25%, 4,28% e 5,83%, respectivamente, valores estes próximos aos deste trabalho, mas não observaram influência da adubação no teor de lignina.

Com o aumento de carboidratos estruturais e lignina nos tecidos de sustentação da planta, a redução da relação entre folha e caule e o aumento de material senescente fazem com que haja uma diminuição no valor nutritivo, conseqüentemente baixa digestibilidade (Frizzo 2001). Assim, os valores mais baixos de lignina obtidos neste trabalho com a cultivar BRS 511 são favoráveis ao bom desempenho animal, visto que o alto valor é prejudicial, pois reduzem o valor nutricional e a digestibilidade (Neumann et al, 2002).

Para a análise de proteína bruta não houve resposta significativa para as doses de nitrogênio e potássio aplicadas em cobertura, obtendo-se como média 5,36%. Valor superior a este trabalho foi observado por Rodrigues Filho et al. (2006), que encontraram média de 6,73% em híbridos de sorgo com diferentes doses de nitrogênio. Já Gontijo Neto et al. (2002), também trabalhando com doses crescentes de nitrogênio, encontraram valor máximo para proteína bruta de 8,06%.

Os valores de proteína podem variar de 2,5 a 13,6% de acordo com cada cultivar, estágio fenológico e principalmente quanto a doses de nutriente aplicado (Gaggiotti et al. 1992). Van Soest (1994) afirma que na dieta animal a proteína deve estar em pelo menos 7% da sua composição, assim é capaz de fornecer nitrogênio suficiente para as bactérias do rúmen se desenvolverem normalmente. Com isso, podemos inferir que a cultivar BRS 511

apresentou teor de proteína satisfatório para plantas de sorgo com uso forrageiro e que esse desempenho não sofreu influência da aplicação de N e de K₂O em cobertura.

Para o conteúdo celular, a interação N * K₂O foi significativa, com equação de curva de resposta descrita a seguir: Conteúdo Celular = 57,7275 - 0,0306 * N - 0,03 * K₂O + 9,871E⁻⁵ * N * N + 1,7724E⁻⁵ * N * K₂O + 0,0001 * K₂O * K₂O, assim a melhor dose que promoveu o maior conteúdo celular se encontra até 20 kg ha⁻¹ de N e 40 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 7).

De acordo com Zenebon (2008), por meio do detergente neutro é possível separar o conteúdo celular (parte da forragem solúvel em detergente neutro), formado principalmente de proteínas, gorduras, carboidratos solúveis, pectina e outros componentes solúveis em água da parede celular (parte da forragem insolúvel em detergente neutro - FDN) que é constituída basicamente de celulose, hemicelulose, lignina e proteína danificada pelo calor e proteína da parede celular e minerais (cinzas).

Para Zago (2001), os carboidratos e as proteínas representam os dois componentes mais importantes da planta, dentre os carboidratos existem os carboidratos estruturais que estão presentes na parede celular e os carboidratos não estruturais (não fibrosos) que se encontram no conteúdo celular e são chamados de amido e açúcares solúveis em água. Assim alimentos não fibrosos são considerados boas fontes energéticas para aumento dos micro-organismos ruminais (Carvalho et al. 2007) e o sincronismo entre a taxa de digestão das proteínas e dos carboidratos podem ter importante resposta sobre os produtos finais da fermentação e sobre a produção animal (Nocek e Russell, 1988). De acordo com os autores citados, o teor de FDN, na forragem, interfere na solubilidade do conteúdo celular uma vez que alimentos menos fibrosos são melhores como fonte de energia para ruminantes e tornam os carboidratos solúveis disponíveis para a fermentação ruminal.

Valores inferiores ao deste trabalho para conteúdo celular foram encontrados por Magalhães et al. (2010), que implantaram 25 híbridos de sorgo de duplo propósito em Sete Lagoas com adubação de 400 kg ha⁻¹ de NPK 08-28-16 e 100 kg ha⁻¹ de ureia; avaliaram as plantas quando os grãos estavam no estágio leitoso a pastoso e obtiveram 59 a 73% os valores de FDN, diante disso. Pode-se calcular o conteúdo celular, e encontrar valores de 27 a 41% indicando que nem todos os híbridos possuem alta digestibilidade e energia para fornecerem aos animais.

Além disso, Simão et al. (2015) avaliaram o desempenho de milho, milheto e híbrido de sorgo forrageiro (BR655) em adubação de plantio com 450 kg ha⁻¹ de NPK 08-28-16, mais

duas adubações de cobertura 90 kg ha⁻¹ de N e 70 kg ha⁻¹ de NPK 30-00-20 aos 25 e 35 dias, respectivamente, e obtiveram resultado para FDN 71,8%, considerando que esse valor foi influenciado pela adubação, uma vez que a quantidade de adubo aplicada foi além da recomendação e para a fração conteúdo celular obteve um valor de 28,2%. Este valor encontrado por Simão et al. (2015) é considerado inferior ao encontrado por Zago (2001) quando analisaram a cultura de sorgo de porte alto para carboidratos não estruturais e obtiveram um teor de 30% de carboidratos não estruturais do conteúdo celular. Como visto, todos os valores encontrados por diferentes autores estão inferiores se comparado a este trabalho, diante disso, podemos considerar o sorgo sacarino como uma forragem de boa qualidade a ser fornecido para ruminantes.

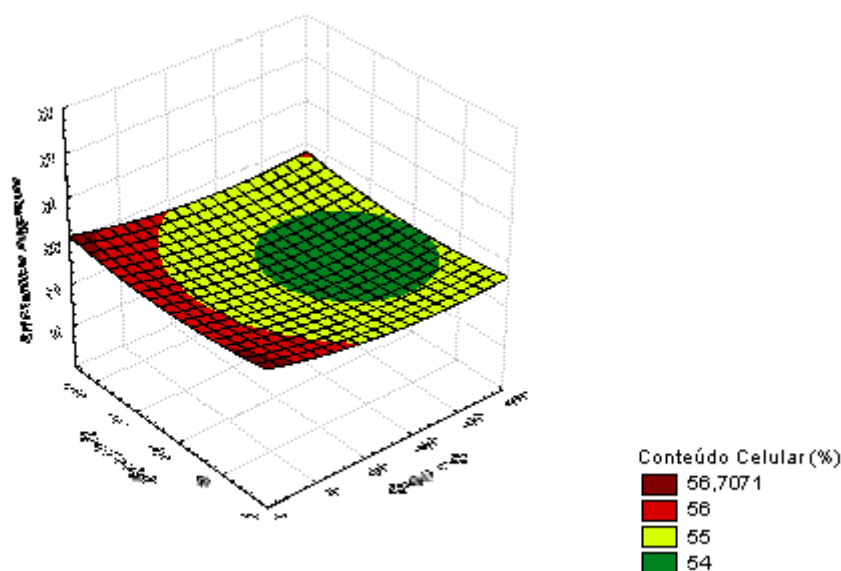


Figura 7: Conteúdo celular de sorgo sacarino (BRS 511) em função da interação das doses de nitrogênio e potássio. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2016.

CONCLUSÕES

A cultivar de sorgo sacarino BRS 511 é, quantitativamente e qualitativamente, uma excelente alternativa de planta forrageira em regiões com risco de déficit hídrico na fase vegetativa.

A produção de massa verde e seca é influenciada pela adubação.

A massa seca total aumentou linearmente com o aumento da dose de K₂O em cobertura e o rendimento de massa seca aumentou linearmente com o aumento da dose de N em cobertura.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Iran Dias Borges, pela confiança, disponibilidade e apoio; à UFSJ pela oportunidade de realizar o curso de Pós-graduação; à Embrapa Milho e Sorgo, de Sete Lagoas, em especial aos pesquisadores Flávia Cristina dos Santos e Rafael Augusto da Costa Parrella, pelo apoio e incentivo a pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, H.P.; CARVALHO, E. R.; REZENDE, P. M. SANTOS, J. P.; ANDRADE, J. B. Rendimento e composição química da forragem de sorgo em diferentes épocas de semeadura. **Revista Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 35, n. 4, p. 728-734, 2011.

ANKON. Thechnology. Method 5 – Acid Detergent Fiber in Feeds Filter Bag Technique. Macedon, 2 p. 2006. Disponível em: <www.ankom.com/sites/default/files/documentfiles/Method_5_ADF_Method_A200_RevE_11_04_14.pdf>. Acesso em: 10 dez 2015.

ANKON. Thechnology. Method 6 – Neutral Detergent Fiber in Feeds – Filter Bag Technique. Macedon, 2 p. 2006. Disponível em: <agronomy.ifas.ufl.edu/pdfs/ndf_081606_a2000.pdf>. Acesso em: 10 dez 2015

ANKON. Thechnology – Method for Determining Acid Detergent Lignin in Beakers. Macedon, 2 p. 2010. Disponível em: <www.ankom.com/media/documents/ADL_beakers.pdf>. Acesso em: 10 dez 2015

CARVALHO, I. Q. Ponto de corte do milho para silagem. **Fundação ABC**, Castro, p. 6, 2013.

CARVALHO, G. G. P.; GARCIA, R.; PIRES, A. J. V.; PEREIRA, O. G.; FERNANDES, F. E. P.; OBEID, J. A.; CARVALHO, B. M. A. Fracionamento de carboidratos de silagem de capim-elefante emurchedo ou com farelo de cacau. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n.4, p.1000-1005, 2007.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público-Privada: Oportunidades, Perspectivas e Desafios**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 76 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos 138).

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**, Brasília, n. 3, p. 14-52, 2011.

EMBRAPA CAPRINOS E OVINOS. **Sistema de Produção de Caprinos e Ovinos no Nordeste Brasileiro**. Goiáras: Embrapa Caprinos e Ovinos (Versão eletrônica), 1ª Ed, set. 2005. Disponível em: <sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/CaprinoseOvinosdeCorte/CaprinosOvinosCorteNEBrasil/autores.htm>. Acesso em: 17 dez 2015.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 36p. (Circular Técnica, 186). Disponível em <www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/966886/1/circ186.pdf>. Acesso em: 12 dez 2014

EMBRAPA MILHO E SORGO. Dados climáticos. 2015. Disponível em: <www.cnpms.embrapa.br>. Acesso em mai 2015.

FERREIRA, D. F. **SISVAR para Windows 4.3**. Lavras: UFLA, 2003. Software

FIALHO, E. T.; LIMA, J. A. F.; OLIVEIRA, V.; SILVA, H. O. Substituição do milho pelo sorgo sem tanino em rações de leitões: digestibilidade dos nutrientes e desempenho animal. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.1, n.1, p.105-111, 2002.

FRIZZO, A. Níveis de suplementação energética em pastagem hibernal na recria de terneiras de corte. 2001. 109 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2001.

GAGGIOTE, M. C.; ROMERO, L. A.; BRUNO, O. A.; Cultivares del sorgo forrajero a la silaje. II características fermentativas e nutritivas de los silajes. **Revista Argentina Produccion Animal**, Argentina. v.12, n.2, p.163-167, 1992

GONTIJO NETO, M. M.; OBEID, J. A.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; CÂNDIDO, M. J. D.; MIRANDA, L. F. Híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivado sob níveis crescentes de adubação. Rendimento, proteína bruta e digestibilidade *in Vitro*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.4, p.1640-1647, 2002.

GONTIJO NETO, M. M.; OBEID, J. A.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; QUEIROZ, A. C.; ZAGO, C. P.; CÂNDIDO, M. J. D.; MIRANDA, L. F. Híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivados sob níveis crescentes de adubação. Características agronômicas, carboidratos solúveis e estruturais da planta. **Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa**, v. 33, n. 6, p. 1975-1984, 2004.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; RETORE, M.; MANARELLI, D. M.; SOUZA, F. B.; LEDESMA, L. L. M.; ORRICO, A. C. A. Forage potential and silage quality of four varieties of saccharine sorghum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.12, p.1201-1207, 2015.

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**, Belém, v. 30, n. 1, p. 103-110, 2010.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Fisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p. (EMBRAPA-CNPMS. Comunicado técnico, 86).

MAGALHÃES, R. T.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; RODRIGUES, J. A. S.; FONSECA, J. F. Produção e composição bromatológica de vinte e cinco genótipos de sorgo

(*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.62, n.3, p.747-751, 2010

MARANVILLE, J. W.; MADHAVAN, S. Physiological adaptations for nitrogen use efficiency in sorghum. **Plant and Soil**, The Hague, v. 245, p. 25-34, 2002.

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

McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. **The biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcombe Publications. 340 p. 1991.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo p. 281-298. 2006

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BERNARDES, R. A. C.; ARBOITE, M. Z.; CERDÓTES, L.; PEIXOTO, L. A. O. Avaliação de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) quanto aos componentes da planta e silagens produzidas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.1, p.302-312, 2002.

NOCEK, J. E.; RUSSELL, J. B. Protein and energy as an integrated system: relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *Journal of Dairy Science*, v.71, n.8, p.2070-2107, 1988.

OLIVEIRA, R. P.; FRANÇA, A. F. S.; SILVA, A. G.; MIYAGI, E. S.; OLIVEIRA, E. R.; PERÓN, H. J. M. C. Composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro sob doses de nitrogênio. *Ciência Animal Brasileira*, Goiânia v. 10, n. 4, p. 1003-1012, 2009.

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

PAIVA, J. A. J. **Qualidade da silagem da região metalúrgica de Minas Gerais**. 1976. 85p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da UFMG. Belo Horizonte.

PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; COTA, L. V.; TARDIN, MENEZES, C. B.; RODRIGUES, J. A. S.; MENDES, S. M.; MAY, A. BRS 511: Variedade de sorgo sacarino para produção de etanol. Sete Lagoas: EMBRAPACNPMS, 2011. 2 p. (EMBRAPA-CNPMS. Comunicado técnico, 196).

PEDREIRA, M. S.; REIS, A. R.; BERCHIELLI, T. T.; MOREIRA, A. L.; COAN, R. M. Características agronômicas e composição química de oito híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 1083-1092, 2003.

PEREIRA FILHO, I. A.; PARRELLA, R. A. C.; MOREIRA, J. A. A.; MAY, A.; SOUZA, V. F.; 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**, Sete Lagoas, v.12, n.2, p. 118-127, 2013.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, 359p.

RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE, A. C.; MAGALHÃES, J. A. Teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido de cinco gramíneas tropicais irrigadas e adubadas em Parnaíba, Piauí. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2011. 20p. (Embrapa Meio Norte, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 100).

RODRIGUES FILHO, O.; FRANÇA, A. F. S.; OLIVEIRA, R. P.; OLIVEIRA, E. R.; ROSA, B.; SOARES, T. V.; MELLO, S. Q. S. Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro [*sorghum bicolor* (L.) Moench] submetidos a três doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.7, n.1, p. 37-48, 2006.

RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. G.; SHAFFERT, R. E.; FERREIRA, A. S.; CASELA, C. R.; TARDIN, F. D. **BRS 655: híbrido de sorgo forrageiro para produção de silagem de alta qualidade**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 2 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 107).

RODRIGUES, P. H. M.; SENATORE, A. L.; ANDRADE, S. J. T.; RUZANTE, J. M.; LUCCI, C. S.; LIMA, F. R. Efeitos da adição de inoculantes microbianos sobre a composição bromatológica e perfil fermentativo da silagem de sorgo produzida em silos experimentais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.6, p. 2373-2379, 2002.

ROSA, J. R. P.; SILVA, J. H. S.; RESTLE, J.; PASCOAL, L. L.; BRONDANI, I. L.; FILHO, D. C. A.; FREITAS, A. K. Avaliação do comportamento agrônomo da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*, L). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.2, p.302-312, 2004.

SALMAN, A. K. D.; FERREIRA, A. C. D.; SOARES, J. P. G.; SOUZA, J. P. **Metodologias para avaliação de alimentos para ruminantes domésticos**. Porto Velho: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2010. 26 p. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Documentos 136).

SANTOS, M. V. F.; GÓMEZ CASTRO, A. G.; PEREA, J. M.; GARCIA, A.; GUIM, A.; PÉREZ HERNÁNDEZ, M. Fatores que afetam o valor nutritivo das silagens Das forrageiras tropicais. **Archivos de Zootecnia**. v. 59, p. 25-43, 2010.

SILVA, T. C.; SANTOS, E. M.; MACEDO, C. H. O.; LIMA, M. A.; BEZERRA, H. F. C.; AZEVEDO, J. A. G.; RODRIGUES, J. A. S.; OLIVEIRA, J. S. Divergence of the fermentative and bromatological characteristics of 25 sorghum hybrid silages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa. v.41, n.5, p. 1127-1133, 2012.

SIMÃO, E. P.; GONTIJO NETO, M. M.; SANTOS, E. A.; BARCELOS, V. G. F. Estratégias para produção de forragem utilizando milho, sorgo e milheto na região Central de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete lagoas. v.14, n.1, p. 75-87, 2015.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S.(Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo p. 215-252, 2006.

URIBER, R. A. M.; TICIANELI, L. C. S. Influência do estande na produtividade de sorgo sacarino. **Revista Diálogos & Ciência**. Salvador, v.34, p.10-12, 2014.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 ed. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1994. 476p

VALENTE, J. O. Introdução. In: **Manejo Cultural do Sorgo para Forragem**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 1997. 62 p. (Embrapa Milho e Sorgo. *Circular Técnica* 17).

ZAGO, C. P. Silagem de sorgo de alto valor nutritivo. In: CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S.; FERREIRA, J. J. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2001.p. 519-544.

ZENEON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 4ª. ed. Viçosa: UFV, 2008. 1000 p.

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, p. 55-64, 2009.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do sorgo é utilizada como uma cultura marginal ao milho, sendo que tolera mais o déficit de água e temperaturas altas do que a maioria dos outros cereais, podendo ser cultivada numa ampla faixa de condições ambientais. Assim, como foi descrito neste trabalho, o sorgo sacarino vem se destacando no mercado, porém ainda faltam estudos que viabilizem um aumento em sua produtividade e características adequadas para produzir uma maior quantidade de etanol.

O sorgo sacarino também possui características para produção de forragem, uma vez que pode ser cultivado em regiões com adversidades climáticas, onde os animais necessitem de alimentação, principalmente na época mais seca do ano.

Neste trabalho, ocorreu o tombamento de algumas parcelas do experimento, (cerca de 10%) e o tratamento testemunha de N e K (dose 0) não foi avaliado. A contribuição do K_2O que estava alto no solo, de acordo com a análise da amostra do solo da área experimental e o aplicado no plantio, influenciou a resposta para algumas características avaliadas quanto a esse nutriente.

As avaliações realizadas neste trabalho trazem importantes informações para o setor agropecuário, entretanto, ainda são necessários estudos em outros ambientes, com outras cultivares, com avaliação de digestibilidade e avaliação forrageira com incremento de aditivos, para que com o uso de práticas de manejo e melhoramento genético se possa melhorar as características agrônômicas e industriais dessa cultivar, buscando maior produtividade e valor nutricional.