

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO TRIÂNGULO MINEIRO – *Campus* Uberaba
MESTRADO PROFISSIONAL EM PRODUÇÃO VEGETAL**

LAÍS CARVALHO DOS SANTOS

**RELAÇÃO ENTRE DOSES DE NITROGÊNIO, POPULAÇÃO DE
PLANTAS E RETIRADA DA PANÍCULA NA PRODUÇÃO DE SORGO
SACARINO**

UBERABA, MG

2022

Ficha Catalográfica elaborada pelo Setor de Referência do IFTM –
Campus Uberaba-MG

S59r Santos, Laís Carvalho dos
Relação entre doses de nitrogênio, população de plantas e retirada da panícula na produção de sorgo sacarino /Laís Carvalho dos Santos - 2022.
39 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Valdeci Oriolli Júnior
Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal) - Instituto Federal do Triângulo Mineiro- Campus Uberaba-MG, 2022.

1. *Sorghum bicolor*. 2. Biocombustível. 3. Adubação nitrogenada. 4. Etanol. I. Oriolli Júnior, Valdeci. II. Título.

CDD 633.62

LAÍS CARVALHO DOS SANTOS

**RELAÇÃO ENTRE DOSES DE NITROGÊNIO, POPULAÇÃO DE
PLANTAS E RETIRADA DA PANÍCULA NA PRODUÇÃO DE SORGO
SACARINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador:

Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior

UBERABA, MG

2022

LAÍS CARVALHO DOS SANTOS

**RELAÇÃO ENTRE DOSES DE NITROGÊNIO, POPULAÇÃO DE
PLANTAS E RETIRADA DA PANÍCULA NA PRODUÇÃO DE SORGO
SACARINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em: 30 de abril de 2022.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior (Orientador) - IFTM, *Campus* Uberaba

Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres - IFTM, *Campus* Uberaba

Dr. Bernardo Melo Montes Nogueira Borges - Santa Clara Agrociência

UBERABA, MG

2022



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TRIÂNGULO MINEIRO – CAMPUS UBERABA
MESTRADO PROFISSIONAL EM PRODUÇÃO VEGETAL

LAÍS CARVALHO DOS SANTOS

**RELAÇÃO ENTRE DOSES DE NITROGÊNIO, POPULAÇÃO DE PLANTAS E RETIRADA DA
PANÍCULA NA PRODUÇÃO DE SORGO SACARINO**

FOLHA DE APROVAÇÃO DEFESA DISSERTAÇÃO

Data da aprovação: 30/04/2022

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente e orientador:

Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Triângulo Mineiro - Campus Uberaba

Membro Titular

Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Triângulo Mineiro - Campus Uberaba

Membro Titular

Dr. Bernardo Melo Montes Nogueira Borges
SANTA CLARA AGROCIÊNCIA - Jaboticabal/SP

Local: Sala de Videoconferência - meet.google.com/zei-zynj-hzq

Rua João Batista Ribeiro, 4000 - Distrito Industrial II - CEP: 38064-790 - Uberaba/MG
Recepção: (34) 3319-6000 / Fax: (34) 3319-6001
www.iftm.edu.br/uberaba

VALDECI ORIOLI JÚNIOR
PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO



Documento assinado eletronicamente por VALDECI ORIOLI JÚNIOR, PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO, em 03/08/2023, às 09:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

BERNARDO MELO MONTES NOGUEIRA BORGES
SANTA CLARA AGROCIÊNCIA - JABOTICABAL/SP - MEMBRO EXTERNO BANCA DEFESA/QUALIFIC MESTRADO/PÓS-GRADUAÇ



Documento assinado eletronicamente por BERNARDO MELO MONTES NOGUEIRA BORGES, SANTA CLARA AGROCIÊNCIA - JABOTICABAL/SP - MEMBRO EXTERNO BANCA DEFESA/QUALIFIC MESTRADO/PÓS-GRADUAÇ, em 03/08/2023, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

JOSÉ LUIZ RODRIGUES TORRES
PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO



Documento assinado eletronicamente por JOSÉ LUIZ RODRIGUES TORRES, PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO, em 03/08/2023, às 12:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://www.iftm.edu.br/autenticacao/> informando o código verificador 76515ED e o código CRC 4E22AB66.

Aos meus pais, Loerdi e Gilda, pelo amor, carinho e ensinamentos dedicados a mim.

Às minhas irmãs Laura e Giovana pelo apoio incondicional.

Ao meu namorado Jéfferson pelo companheirismo e incentivo em todos os momentos.

À minha Avó Aniceta que ilumina com sua força e vontade de viver.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida. Obrigado por me permitir errar, aprender e crescer.

Ao meu orientador Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior, pela competência, profissionalismo e dedicação tão importantes, que mesmo durante a fase crítica da pandemia, me estimulou para dar continuidade nos estudos e concluir a dissertação. Sua aulas inteligentes me inspiraram, sua determinação me motivou, tenho certeza que não chegaria neste ponto sem o seu apoio, obrigado pela orientação e por acreditar em mim, levarei estes ensinamentos comigo sempre.

Às alunas Karine e Maria Eduarda pela condução dos experimentos.

Aos membros da banca da qualificação, Prof. Dr. Daniel Pena Pereira e Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres, que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com este trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) - *Campus* Uberaba e ao Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal que proporcionaram a realização do curso.

Aos Professores do IFTM, pela dedicação das aulas aos finais de semana, pela qualidade de ensino e todo conhecimento compartilhado.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

Resumo: O sorgo é uma planta que pode ser utilizada para a produção de grãos, forragem para alimentação animal e também etanol. Para a produção de etanol, normalmente, utiliza-se o sorgo sacarino que se caracteriza por acumular açúcares em seu colmo. A disponibilidade de N, a população de plantas e a relação fonte-dreno podem influenciar a produtividade da cultura. Assim, neste estudo objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico do sorgo sacarino adubado com quatro doses de N aplicadas em cobertura, cultivado com duas populações e em plantas com e sem panículas. Foram conduzidos dois experimentos em dois anos consecutivos. No primeiro experimento foram avaliadas doses de N e retirada da panícula, no delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com parcelas subdivididas, com quatro tratamentos principais: 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N; e dois tratamentos secundários: presença e ausência de panícula. No segundo experimento, avaliaram-se doses de N e população de plantas, em DBC, em esquema fatorial 4 x 2, sendo que as doses de N foram as mesmas do primeiro experimento, com duas populações de plantas: 90.000 e 120.000 plantas ha⁻¹, ambos os experimentos foram realizados com três repetições. Foram realizadas as seguintes avaliações: diâmetro de colmos, acamamento e altura de plantas, produtividade de colmos, bagaço e caldo. Ao se retirar a panícula, a aplicação de 180 kg ha⁻¹ de N propicia as maiores produtividades de colmo e caldo. Em plantas com panícula, as doses de 108 e 129 kg ha⁻¹ de N proporcionam as máximas produtividades de colmo e caldo, respectivamente. Doses superiores a 150 kg ha⁻¹ de N reduzem o acamamento de plantas de sorgo sacarino com panícula. Concluiu-se com o segundo experimento que as maiores produtividades de colmo e bagaço de sorgo sacarino são obtidas com a aplicação de 119 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura, respectivamente, e que o cultivo com 120.000 plantas ha⁻¹ pode proporcionar maior produtividade.

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

Abstract: Sorghum is a plant that can be used to produce grains, fodder for animal feed and also ethanol. For the production of ethanol, saccharine sorghum is usually used, which is characterized by the accumulation of sugars in its culm. N availability, plant population and source-drain ratio can influence crop yield. Thus, the objective of this study is to evaluate the agronomic performance of saccharine sorghum fertilized with four doses of N applied in cover, grown with two populations and in plants with and without panicles. Two experiments were conducted in two consecutive years. In the first experiment, N doses were evaluated and panicle removal was evaluated in a randomized block design (RBD), with subdivided plots, with four main treatments: 0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ of N; and two secondary treatments: presence and absence of panicle. In the second experiment, N doses and plant population were evaluated in RBD, in a 4 x 2 factorial scheme, and the N doses were the same as in the first experiment, with two plant populations: 90,000 and 120,000 plants ha⁻¹, both experiments were carried out with three replications. The following evaluations were performed: culm diameter, lodging and plant height, culm yield, bagasse and juice. When removing the panicle, the application of 180 kg ha⁻¹ of N provides the highest yields of culm and juice. In plants with panicle, the doses of 108 and 129 kg ha⁻¹ of N provide the maximum yields of culm and juice, respectively. Doses higher than 150 kg ha⁻¹ of N reduce the lodging of saccharine plants with panicle. It was concluded with the second experiment that the highest yields of culm and bagasse of saccharine sorghum are obtained with the application of 119 and 180 kg ha⁻¹ of N in cover, respectively, and that cultivation with 120,000 plants ha⁻¹ can provide higher productivity.

Keywords: *Sorghum bicolor*, biofuel, nitrogen fertilization, ethanol.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA NO BRASIL PARA PRODUÇÃO DE ETANOL	9
2.2 EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DO SORGO SACARINO.....	10
2.3 FISIOLOGIA E ASPECTOS DO CULTIVO DE SORGO SACARINO	12
2.4 POPULAÇÃO DE PLANTAS E PRODUÇÃO DA CULTURA.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	14
3.2 TRATAMENTOS, DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ASPECTOS DA CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	15
3.3 MANEJO DA ADUBAÇÃO E RETIRADA DA PANÍCULA.....	16
3.4 VARIÁVEIS AVALIADAS.....	16
3.5 ANÁLISE DOS DADOS	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 EXPERIMENTO 1: RETIRADA DA PANÍCULA DE DOSES DE NITROGÊNIO	18
4.2. EXPERIMENTO 2: POPULAÇÃO DE PLANTAS E DOSES DE NITROGÊNIO.....	25
5 CONCLUSÕES.....	30
5.1. EXPERIMENTO 1.....	30
5.2. EXPERIMENTO 2.....	30
6 REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis como petróleo, carvão mineral e gás natural, são utilizados como fonte de energia, porém são fontes não renováveis. Isso os torna escassos e seu consumo causa elevado impacto ambiental, pois a queima destes combustíveis é responsável pela emissão de, aproximadamente, 82% dos gases do efeito estufa, dióxido de carbono, dióxido de enxofre, entre outros (SANTOS et al., 2012).

A crescente demanda por fontes energéticas alternativas ao petróleo e a preocupação com o meio ambiente têm levado ao estudo de novas matérias-primas para fabricação de biocombustíveis. Dentre as tecnologias desenvolvidas para substituição do uso dos derivados do petróleo como fonte de energia, o etanol está consolidado como um produto indispensável na oferta de combustíveis, que inclusive vem sendo adicionado em até 27% na composição da gasolina, mesmo possuindo grandes oscilações de preço, queda na produção devido à recessão econômica internacional e alguns problemas climáticos ocorridos nos últimos anos (MANOCHIO et al., 2017).

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma cultura que apresenta potencial para utilização na produção de etanol, em complementação com o de cana-de-açúcar. Suas principais características residem na eficiência do uso de água, equivalendo a 33% da quantidade utilizada pela cana-de-açúcar e 50% do consumo pelo milho (REDDY et al., 2005), além do bom desenvolvimento em diferentes climas e solos (DUTRA et al., 2011). Possui porte elevado e caracteriza-se por acumular açúcares fermentáveis no colmo (ALBUQUERQUE et al., 2012).

Dessa maneira, o cultivo de sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar tem potencial para diminuir a ociosidade das máquinas das usinas, visto que os mesmos equipamentos de moagem, fermentação e destilação utilizados na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar podem ser empregados para a fabricação de etanol a partir do sorgo (ALBUQUERQUE et al., 2012).

Dentre os fatores que podem influenciar a produção de sorgo sacarino pode-se destacar a disponibilidade de N (LARA et al., 2018) e a população de plantas (ALBUQUERQUE et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2019). No entanto, é preciso considerar ainda que o sorgo sacarino é capaz de produzir quantidades relevantes de grãos, os quais atuam como forte dreno de fotossintatos e podem ocasionar redução na produção de etanol.

Desta forma, a remoção da panícula poderia favorecer o acúmulo de açúcares nos colmos do sorgo sacarino e, conseqüentemente, elevar a produtividade da cultura.

Assim, neste estudo objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico do sorgo sacarino adubado com quatro doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, cultivado com duas populações e em plantas com e sem panículas, no cerrado mineiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA NO BRASIL PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

A demanda mundial por combustíveis renováveis tem-se expandido rapidamente nos últimos anos. Menor custo, autossuficiência em relação aos países exportadores de petróleo, redução do volume de emissões de gases do efeito estufa, incertezas a respeito da disponibilidade futura de recursos não renováveis e tensões geopolíticas em regiões produtoras do combustível fóssil são alguns dos fatores que têm despertado grande interesse pelos biocombustíveis.

O Brasil na safra 2013/2014, alcançou uma produção de 27 bilhões de litros de etanol, na qual se almeja um aumento na ordem de 65,3 bilhões de litros na safra 2020/2021, onde representará um aumento de 15% da matriz energética brasileira, fato que corrobora para destaque a nível mundial na produção de etanol (CONAB, 2020).

Embora a cana-de-açúcar responda pelos maiores índices de produção de etanol no país, a demanda por combustíveis limpos tem despertado o interesse pela busca de novas alternativas de matéria-prima para a produção de energia. Para Whitfield, Chinn e Veal (2012), além da cana-de-açúcar, a beterraba e o sorgo sacarino possuem grande potencial energético como fontes renováveis de energia.

Neste contexto, o sorgo sacarino surge como uma boa alternativa para elevar a produção nacional de etanol sem prejudicar o cultivo da cana-de-açúcar. Este tem sido cultivado em áreas de reforma dos canaviais e, como é semeado e colhido ainda no período de entressafra da cana-de-açúcar, colabora para reduzir o período de ociosidade das usinas sucroalcooleiras. Seu uso ajuda a evitar, ainda, a colheita de cana-de-açúcar antes de atingir a maturação, o que normalmente ocorre no início de safra. Com o aumento do período de trabalho das usinas a oferta de etanol, teoricamente, seria maior e mais uniforme durante o ano, o que poderia contribuir para reduzir a oscilação dos preços deste combustível.

Na safra de 2022, apesar da redução da área plantada (-2,1%) e também da área colhida (-1,4%), a estimativa de produção é de 2,7 milhões de toneladas. Um crescimento de 11,4% em relação ao ano anterior onde o clima foi desfavorável devido uma maior disponibilidade de chuvas (IBGE, 2022).

Características agronômicas como ciclo de vida curto de cerca de quatro meses, capacidade de crescer sob condições ambientais adversas, baixo custo de cultivo e sistema fotossintético C4 são especialmente úteis para sua adoção como matéria-prima de biocombustível. Devido ao fato que o sorgo sacarino pode render mais de 60 a 70 litros de etanol por tonelada processada de acordo a época de colheita, enquanto a cana-de-açúcar produz, em média, 85 litros por tonelada. Embora, a produção anual de etanol de sorgo sacarino dependa de vários fatores, incluindo o potencial genético das cultivares, época do ano, qualidade do solo e outras condições ambientais, estima-se que a cultura de sorgo sacarino produza 8000 L ha⁻¹ ano⁻¹ de etanol (MATHUR et al., 2017).

2.2 EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DO SORGO SACARINO

No Brasil, alguns estudos sobre aspectos nutricionais e adubação para o sorgo sacarino destinado à produção de etanol foram realizados na década de 1980. Naquela época, por conta da crise energética internacional gerada pelos altos preços do petróleo, já existia o interesse no uso do sorgo sacarino como alternativa para reduzir o período ocioso das usinas sucroalcooleiras na entressafra da cana-de-açúcar e aumentar a produção nacional de etanol. No entanto a ideia não foi adotada pelos produtores de cana-de-açúcar.

A maioria destes contemplavam cultivares distintos dos que hoje estão disponíveis no mercado. Naquela época utilizavam-se variedades de sorgo sacarino, mas atualmente, híbridos com maior potencial produtivo estão disponíveis. Este fato e, ainda, as grandes variações entre os resultados de experimentos com a cultura, tornam difícil o estabelecimento de recomendações seguras para a adubação. Por conta disto, novos estudos devem ser realizados considerando cultivares recentes, arranjos populacionais adotados e a finalidade da produção de sorgo sacarino pelo setor sucroalcooleiro brasileiro.

Ao otimizar a aplicação de N, P e K nos sistemas produtivos, para um alto rendimento de biomassa, pode-se reduzir os custos da fertilização destes nutrientes mais requeridos, o que afeta o rendimento da cultura, e torna a produção de sorgo sacarino mais sustentável (HAN et al., 2011; MAW et al., 2016; AMEEN et al., 2017).

Sabe-se que o sorgo apresenta menos necessidade de água e adubo do que outras culturas semelhantes, como o milho. No entanto, nota-se que há poucos estudos que analisam os efeitos da adubação nitrogenada na produção de biomassa e seus efeitos sobre o brix e rendimento de açúcares (MOREY et al., 2018; SILVA et al., 2019).

A adoção de menores espaçamentos pode influenciar a absorção e acúmulo inicial de nutrientes e, conseqüentemente, reduzir as perdas e aumentar a eficiência de uso dos nutrientes (BARBIERI et al., 2008).

Assim como o arranjo de plantas, a adubação nitrogenada pode também influenciar a eficiência com que as plantas convertem a energia radiante em energia química pela fotossíntese, pois o N é constituinte de vários compostos nas plantas, como aminoácidos, ácidos nucléicos e clorofila. Por conta disso, este elemento participa das principais reações bioquímicas dos vegetais, podendo influenciar de maneira significativa o crescimento de tecidos vegetais e também o processo de fotossíntese (CANTARELLA, 2007).

Heinemann et al. (2006) analisaram a influência da adubação nitrogenada na eficiência de uso da radiação solar pela cultura do trigo e verificaram que a deficiência de N, por ocasionar a redução da área foliar, diminuiu a interceptação de luz pelo dossel e também a capacidade das plantas converterem a radiação interceptada em massa seca.

Porém, segundo Wortmann et al. (2010), os resultados obtidos para o sorgo sacarino em função da adubação nitrogenada são contrastantes e a ausência de respostas positivas é comum. Segundo os autores, isto provavelmente deve-se a menor exigência de N, maior absorção do nutriente em estádios mais avançados do ciclo e menor acúmulo desse macronutriente quando comparado com outras culturas, como o milho e o sorgo granífero.

Dentro desse contexto, Tamang et al. (2011), no Texas, avaliaram os efeitos da aplicação de até 168 kg ha⁻¹ de N em quatro cultivares de sorgo (incluindo dois cultivares de sorgo sacarino) e concluíram que a adubação nitrogenada, no segundo dos dois anos de estudo, afetou significativamente acúmulo e concentração de N, produção de bagaço, da massa seca da parte aérea e também a produção de etanol de celulose, do caldo e total. A máxima produção de massa seca da parte aérea foi obtida com a aplicação de 108 kg ha⁻¹ de N e o máximo retorno econômico (considerando a produção total de etanol) com 101 kg ha⁻¹ de N.

2.3 FISILOGIA E ASPECTOS DO CULTIVO DE SORGO SACARINO

O sorgo sacarino é uma cultura cultivada no verão (entressafra da cana-de-açúcar), de ciclo curto e com altos teores de açúcares diretamente fermentáveis no colmo. Caracteriza-se, ainda, por ser tolerante a estresses abióticos, o que favorece seu desenvolvimento em condições edafoclimáticas diversas e a torna promissora fonte de matéria-prima para produção de etanol no país. Ainda, vale ressaltar que tanto o processo de colheita quanto o de beneficiamento são os mesmos adotados para a cana-de-açúcar, não sendo necessárias mudanças adaptativas. O sorgo sacarino pode ser cultivado em área de reforma de canavial, não havendo necessidade de abrir novas áreas para a implantação (DURÃES, 2011; ALMODARES; HADI, 2009).

No Brasil, de acordo com Prado et al. (2019), o sorgo é amplamente utilizado na alimentação animal, todavia pesquisas apontam sobre viabilidade e o potencial fisiológico das espécies para a utilização na produção de combustível.

Sendo o sorgo uma planta de metabolismo C₄, os processos de bioconversão de energia são mais efetivamente afetados ambientalmente por radiação; concentração de CO₂, disponibilidade hídrica, nutrientes e temperatura. Características importantes para a produtividade e rendimento de colheita como número de colmo por planta; estatura de planta e diâmetro de colmo; comprimento e a largura das folhas e arquitetura da parte aérea, sendo a expressão destes caracteres influenciados pelas condições meteorológicas e pelo manejo e tratos culturais (MARCHIORI, 2004).

Todavia, a magnitude da produção de uma cultura é dependente da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, da eficiência de uso da radiação interceptada, da distribuição dos fotoassimilados nas partes da planta e da manutenção desses processos pela planta. Dentre estes processos, aqueles que envolvem a utilização de luz são os principais responsáveis pela produtividade das culturas. Assim, a quantidade de energia convertida, isto é, a quantidade de massa seca produzida, depende do percentual de energia absorvida e da eficiência de utilização dessa energia (ARGENTA et al., 2001).

Adicionalmente, variedades de sorgo sacarino são mais altas, têm maior superfície de área foliar, possuem uma melhor capacidade de interceptação de luz e alta eficiência de uso de radiação em comparação com sorgo granífero e sorgo energia. Outra característica importante e exclusiva do sorgo sacarino, em comparação com outros tipos de sorgo, é a duração da produção ótima de açúcar, que geralmente ocorre antes da maturação fisiológica e é mantida por um maior período de tempo (KARLEN, 2014).

Por sua vez, a capacidade de uma gramínea, como o sorgo sacarino, em interceptar a radiação incidente é influenciada pelo índice de área foliar (IAF), ângulo da folha em relação ao colmo, interceptação de luz por outras partes da planta, distribuição de folhas, características de absorção de luz pela folha e pela quantidade de radiação incidente (ARGENTA et al., 2001). Deste modo, aspectos fitotécnicos que podem influenciar esses fatores, como o arranjo espacial de plantas e adubação nitrogenada, devem receber especial atenção.

2.4 POPULAÇÃO DE PLANTAS E PRODUÇÃO DA CULTURA

É importante considerar que a maioria dos trabalhos envolvendo o sorgo sacarino foi realizada em condições edafoclimáticas distintas das encontradas nas principais regiões produtoras de etanol no Brasil. Além disso, estes trabalhos contemplam espaçamentos entrelinhas, normalmente, distintos daqueles que estão sendo adotados pelas usinas sucroalcooleiras onde estão avaliando a possibilidade de uso do sorgo sacarino no período de entressafra da cana-de-açúcar. Esta diferença ocorre, pois, as usinas preconizam espaçamentos que permitam utilização das mesmas colhedoras utilizadas para a cana-de-açúcar, sem que haja o amassamento das plantas de sorgo. Além disso, a finalidade da produção de sorgo sacarino é diferente. Enquanto no Brasil o sorgo sacarino tem sido explorado basicamente para a produção de etanol, em outros países seu cultivo preconiza a produção de grãos, xarope e açúcar.

O plantio do sorgo sacarino é recomendado nos meses de outubro a dezembro, que corresponde ao período chuvoso no centro sul do Brasil. Uma população de 120.000 a 130.000 plantas ha^{-1} é indicada para cultivares com baixo grau de perfilhamento, enquanto que 110.000 plantas ha^{-1} é recomendada para cultivadas que perfilham mais (BORÉM et al., 2014).

Ainda mais contrastantes que os resultados para o espaçamento entrelinhas são aqueles relacionados com a população de plantas. Albuquerque et al. (2012), afirmam que a escolha do arranjo de plantas apropriado, possibilita o controle de plantas daninhas, além do maior aproveitamento dos recursos primordiais para a cultura, tais como: luz, água e nutrientes.

Wortmann et al. (2010), em Nebraska, região central dos Estados Unidos, estudando os efeitos da densidade de plantas (75.000; 125.000 e 175.000) em sorgo sacarino, observaram que apenas em dois de sete locais estudados a variação na população de plantas influenciou a produção de colmos do sorgo sacarino, sendo que em um deles as maiores

produções de colmos e etanol foram obtidas com 175.000 plantas/ha e em outro o aumento da população de plantas reduziu a produtividade e aumentou o Brix.

Gutte e Karanjikar (2007) acreditam que o sorgo sacarino responde melhor à aplicação de fertilizantes e proporcionam maiores rendimentos quando cultivado em espaçamentos entrelinhas largas que outros tipos de sorgo. Estes autores, na Índia, avaliaram o sorgo sacarino nas populações de 148.000; 111.000; 74.000 e 83.000 plantas ha⁻¹, obtidas com as seguintes combinações de espaçamento entrelinhas e entre plantas na linha (em metros): 0,45 x 0,15; 0,45 x 0,20; 0,45 x 0,30 e 0,60 x 0,20. Verificaram que a população de 83.000 plantas ha⁻¹ proporcionou maior acúmulo de massa seca da parte aérea por planta e rendimento de grãos, em relação às maiores densidades populacionais (148.000, 111.000 plantas ha⁻¹). Segundo os autores, esses resultados são consequência da melhor e mais eficiente utilização de todos os recursos naturais e menor competição por luz, nutrientes, água e espaço.

Teoricamente, o melhor arranjo de plantas na área de cultivo é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de plantas por área, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes (ARGENTA et al., 2001). No entanto, no caso do sorgo sacarino, aparentemente, existe diferenças significativas entre os arranjos que proporcionam os melhores rendimentos quanto aos aspectos quantitativos e qualitativos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi conduzido na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Campus Uberaba, que fica localizado entre as coordenadas geográficas 19°39'19'' de latitude sul, 47°57'27'' de longitude oeste, a uma altitude de 800 m, por dois anos consecutivos. A área experimental já havia sido utilizada para cultivo de soja e milho, mas encontrava-se em pousio por vários anos, com presença de grande quantidade de plantas invasoras, predominantemente de gramíneas.

O clima da região é classificado como Aw megatérmico, segundo classificação de Köppen atualizada (BECK et al., 2018), tendo verão quente e chuvoso e inverno frio e seco. Na região ocorrem médias anuais de precipitação e temperatura de 1600 mm e, 22,6 °C, respectivamente (INMET, 2021). Os dados diários de precipitação e temperatura média do ar registrados nos períodos experimentais são expostos na Figura 1.

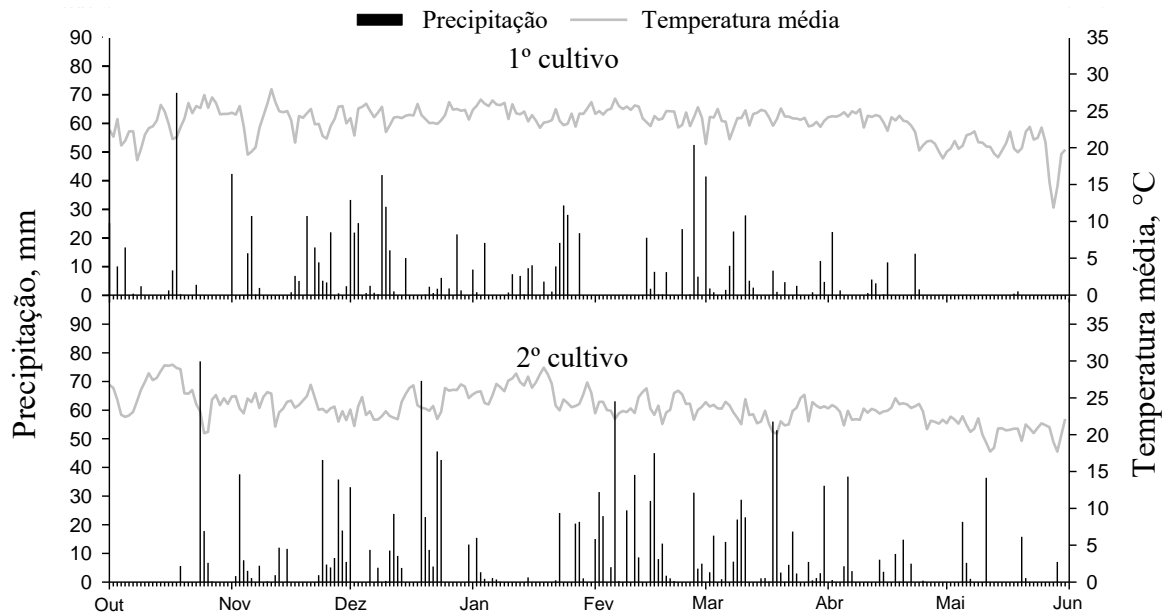


Figura 1. Dados diários de precipitação e temperatura média do ar durante o período experimental.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Santos et al., 2018), textura franco arenosa, apresentando na camada arável de 0 a 0,20 m: pH (CaCl₂) 4,1; MO = 16,5 g dm⁻³; P (resina) = 39 mg dm⁻³; K = 0,64 mmol_c dm⁻³; Ca = 2,4 mmol_c dm⁻³; Mg = 1,0 mmol_c dm⁻³; Al+3 = 4,6 mmol_c dm⁻³; H+Al = 40 mmol_c dm⁻³; CTC = 44,0 mmol_c dm⁻³; V = 9,2%; B = 0,10 mg dm⁻³; Cu = 0,5 mg dm⁻³; Fe = 22,3 mg dm⁻³; Mn = 0,5 mg dm⁻³ e Zn = 1,6 mg dm⁻³.

Antes do primeiro cultivo, com base nos resultados da análise química do solo, foi realizada a calagem procurando-se elevar a saturação por base a 60%, de acordo com Coutinho et al. (1985, 1987 e 1988). O calcário foi aplicado na superfície do solo e incorporado até, aproximadamente, 0,20 m de profundidade por meio de uma aração e duas gradagens. Com base nos mesmos estudos, foram determinadas as doses de N, P e K na semeadura do sorgo sacarino, sendo aplicado 25 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, tendo-se como fonte a formulação 8-28-16.

3.2 TRATAMENTOS, DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ASPECTOS DA CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

No primeiro experimento, envolvendo doses de N e retirada da panícula, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas, sendo avaliadas quatro doses de nitrogênio no tratamento principal: 0, 60, 120 e

180 kg ha⁻¹ de N, dois tratamentos secundários: presença e ausência de panícula, todos com três repetições. No segundo experimento também foi adotado o DBC, porém em esquema fatorial 2 x 4. Cada tratamento consistiu da associação de uma população de plantas (90.000 e 120.000 plantas ha⁻¹) e uma dose de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹). Nos dois experimentos foram adotadas três repetições.

As parcelas do primeiro experimento foram constituídas de doze linhas de sorgo sacarino, com cinco metros de comprimento, espaçadas em 0,90 m (54 m²). As subparcelas foram constituídas de seis linhas de sorgo sacarino, com cinco metros de comprimento, espaçadas em 0,90 m (27 m²). Já no segundo experimento as parcelas possuíam seis linhas com cinco metros de comprimento. Em ambos os estudos, como área útil foram consideradas as quatro linhas centrais, descontando-se 0,50 m das extremidades (14,4 m²). As parcelas e blocos foram separados por carregadores de um e dois metros, respectivamente.

A semeadura foi realizada mecanicamente, nos dois anos e experimentos, no início do mês de dezembro, utilizando-se o híbrido simples SweetMon 02, fornecido pela empresa Monsanto/CanaVialis. Posteriormente foi realizado o desbaste e, no primeiro experimento, procurou-se obter 120.000 plantas por hectare. No segundo experimento o desbaste foi realizado para obter a população de cada tratamento. Os demais tratamentos culturais e fitossanitários foram os normalmente recomendados à cultura do sorgo.

3.3 MANEJO DA ADUBAÇÃO E RETIRADA DA PANÍCULA

A adubação nitrogenada de cobertura, de acordo com cada tratamento, foi realizada aos 35 dias após a emergência das plantas, quando apresentavam de 5 a 6 folhas completamente expandidas, tendo-se a ureia como fonte. Neste momento também foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de K₂O em todas as parcelas, utilizando-se o cloreto de potássio como fonte. Nos tratamentos com ausência de panículas, cortaram-se as mesmas assim que estas foram emitidas.

3.4 VARIÁVEIS AVALIADAS

- 1) Teor de nitrogênio nas folhas – Apenas no primeiro experimento, por ocasião do florescimento, foram coletadas em 20 plantas por subparcela o terço médio central (sem a nervura) da folha +4, ou seja, quarta folha com colar visível a partir do ápice da

planta, conforme Coutinho et al. (1985). As análises foram realizadas de acordo com Bataglia et al. (1983).

- 2) Acamamento de plantas – Foi determinado contando-se o número de plantas acamadas e total de cada subparcela. O resultado foi expresso em porcentagem. Essa avaliação foi realizada apenas no primeiro experimento.
- 3) Diâmetro de colmos - Utilizando-se paquímetro, foi medido 30 dias após a retirada das panículas, o diâmetro no segundo entrenó acima da superfície do solo (expresso em milímetros) de dez plantas em cada subparcela.
- 4) Altura de plantas – Realizada apenas no segundo experimento. Por ocasião do florescimento, com o auxílio de régua graduada, foi medida a distância entre o colo e o colar da última folha em 10 plantas por parcela.
- 5) Produção de colmos - No estágio 8 (grão “duro”) foram colhidas as plantas de quatro linhas de cada subparcela (1º experimento) ou parcela (2º experimento), determinando-se a massa fresca de colmos desfolhados e sem a panícula. Os resultados foram, então, expressos em Mg ha⁻¹.
- 6) Produção de caldo e bagaço - Por ocasião da colheita foram coletados dez colmos por subparcela (1º experimento) ou parcela (2º experimento), os quais tiveram o caldo extraído por meio de moenda simples. Cada amostra foi passada na moenda por duas vezes. Posteriormente, as quantidades extraídas de caldo e bagaço foram pesadas e os resultados expressos em Mg ha⁻¹.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

As pressuposições de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias residuais foram checadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa estatístico Agroestat de acordo com cada delineamento experimental, aplicando-se o teste F. Quando as diferenças foram significativas, as médias referentes à retirada da panícula e população de plantas foram comparadas pelo teste de Tukey. Para as doses de N realizou-se estudo de regressão. No primeiro experimento, independentemente de a interação entre as causas de variação ser significativa optou-se pelo desdobramento. O nível de significância adotado nas análises foi de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO 1: RETIRADA DA PANÍCULA DE DOSES DE NITROGÊNIO

No primeiro ano de cultivo não se observou influência das doses de N na concentração desse nutriente na folha diagnóstica nas plantas em que as panículas não foram retiradas ($p > 0,05$) e, neste caso, o valor médio observado foi de $31,06 \text{ g kg}^{-1}$ de N (Figura 2A). Quando houve a retirada das panículas, notou-se incremento linear na concentração de N nas folhas na medida em que se aumentou a dose do nutriente ($p < 0,05$). Sem a aplicação de N as plantas apresentaram $29,75 \text{ g kg}^{-1}$ de N e com o fornecimento de 180 kg ha^{-1} do nutriente a concentração foi de $31,45 \text{ g kg}^{-1}$. No entanto, diferença significativa entre as condições de retirada da panícula foi constatada apenas no tratamento sem aplicação de N e, nesta condição, as plantas sem panícula apresentaram menor concentração de N (Figura 2A).

No segundo ano de cultivo, porém, houve aumento linear nos teores de N nas folhas de sorgo ao se incrementar a dose de N ($p < 0,01$) independentemente da condição de retirada das panículas (Figura 2B). Nesse ano, a concentração de N nas folhas foram de 25,1 e 26,3 g kg^{-1} de N nas plantas que não receberam N, com e sem panícula, respectivamente. Ao se aplicar a maior dose no nutriente (180 kg ha^{-1} de N), as concentrações foram 31,86 e 34,42 g kg^{-1} de N nas plantas com e sem panícula, respectivamente. Neste ano não foram observadas diferenças entre as condições de retirada de panícula dentro de cada dose ($p > 0,05$).

Assim, tanto no primeiro quanto no segundo ano, as concentrações de N foram adequadas para a cultura independentemente da dose do nutriente, pois segundo Babiker et al. (1999), o teor de N tido como ideal é de 25 g kg^{-1} de N. Por sua vez, Martinez et al. (1999) adotam como ideais valores de 23 a 29 g kg^{-1} de N. Pitta et al. (2001) destacam ser este o elemento cuja extração é maior pela cultura do sorgo, com elevação linear em seu acúmulo em função do aumento da produtividade.

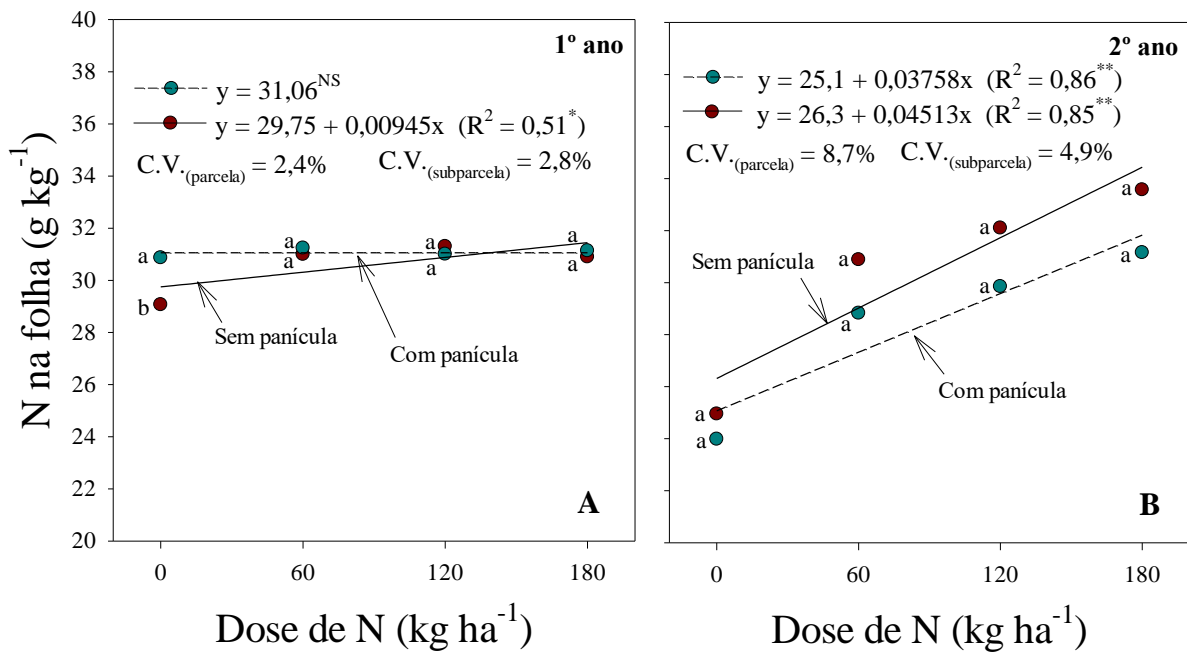


Figura 2. Teor de nitrogênio nas folhas de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio e retirada da panícula em dois anos de cultivo. Letras minúsculas na figura comparam o tratamento com e sem panícula pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As taxas de incrementos nas concentrações de N nas folhas foram numericamente superiores no segundo ano de cultivo, uma vez que foram verificados incrementos de 37,6 (com panícula) e 45,1 (sem panícula) mg de N na folha para cada 1 kg de N aplicado (Figura 2B). No entanto, no primeiro ano, a taxa foi de apenas 9,5 mg de N por kg de N (Figura 2A).

Quanto ao diâmetro de colmo, verifica-se na Figura 3, que a retirada da panícula não alterou significativamente esta variável nos dois anos de cultivo ($p > 0,05$). No entanto, ao se considerar o fornecimento de N, no primeiro ano notou-se incremento linear do diâmetro em função do aumento das doses de N nas plantas sem panícula ($p < 0,05$). As plantas que não receberam N apresentavam colmos com 13,7 mm de diâmetro, enquanto que naquelas adubadas com 180 kg ha⁻¹ de N o diâmetro do colmo foi de 16,2 mm. As plantas com panícula apresentaram diâmetro de colmo de 17,0 mm, independentemente da dose de N ($p > 0,05$) (Figura 3A). No segundo ano, apenas as plantas com panícula tiveram o diâmetro do colmo alterado pelas doses de N ($p < 0,05$), ao se aplicar a maior dose do nutriente o diâmetro de colmo foi de 18,1 mm, enquanto que nas parcelas sem N as plantas apresentavam colmo com 14,9 mm de diâmetro. Plantas sem panícula, para todas as doses de N ($p > 0,05$), apresentavam colmos com 15,3 mm de diâmetro (Figura 3B).

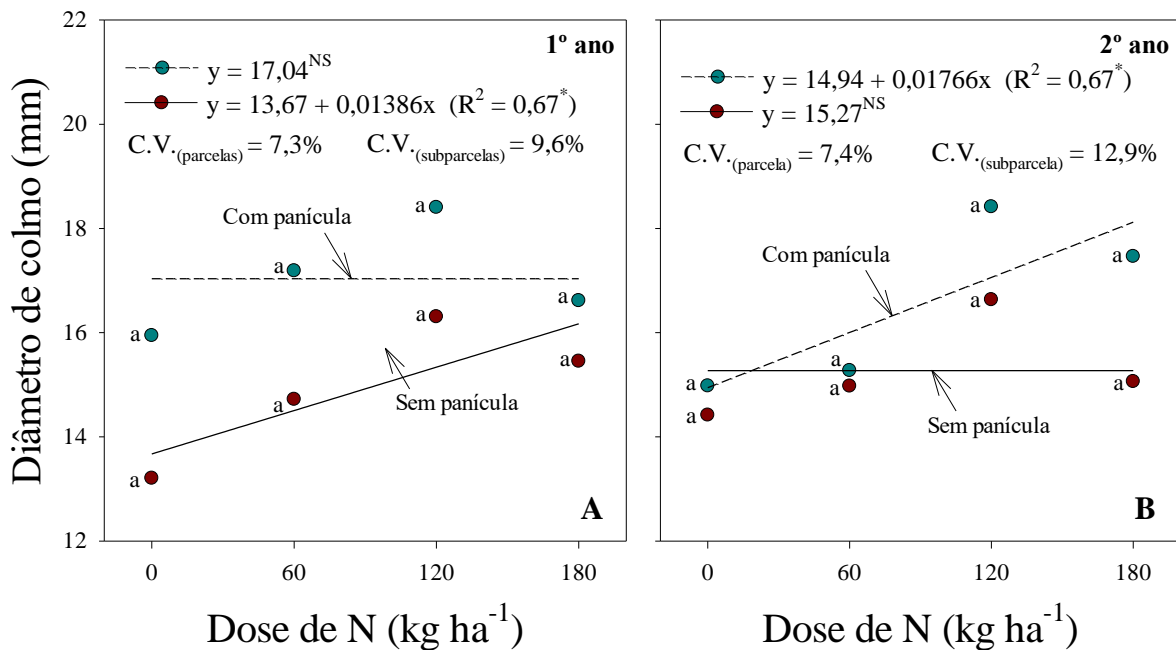


Figura 3. Diâmetro de colmo de plantas de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio e retirada da panícula em dois anos de cultivo. Letras minúsculas na figura comparam o tratamento com e sem panícula pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Outros autores notaram que a adubação nitrogenada não alterou o diâmetro do colmo de plantas de sorgo granífero e forrageiro, assim como em algumas situações deste estudo (GÓES et al., 2011; FORMIGA et al., 2012; PEREIRA et al., 2014; TAVIAN et al., 2014). Todavia, Almodares et al. (2008) verificaram que a aplicação de N influenciou de forma significativa o diâmetro de colmo das plantas de sorgo sacarino, aferido por ocasião da maturação fisiológica. Esses autores notaram que ao se aplicar N (81 kg ha^{-1} de N) o diâmetro do colmo foi de 19,4 mm, enquanto que no tratamento testemunha (sem N), o valor foi de 16,6 mm. Do mesmo modo, Lima et al. (2013) verificaram, em sorgo sacarino, que as plantas que receberam N apresentavam colmo com diâmetro de 10,51 mm e aquelas que não receberam, de 8,00 mm.

O diâmetro de colmo é variável importante para o sorgo sacarino, pois além de estar relacionada com a capacidade da planta de acumular açúcares, também se relaciona com a sua susceptibilidade ao acamamento, problema muito frequente da cultura. Pelo fato de ser uma planta de porte alto e, ainda, produzir quantidade significativa de grãos na panícula, plantas de sorgo sacarino são bastantes sujeitas ao acamamento (WORLEY et al., 1991). Assim, é muito importante estabelecer práticas de manejo que reduzam a probabilidade de acamamento. Neste estudo foi

verificado acamamento de plantas apenas no segundo ano de cultivo e cerca de 23% das plantas sem panícula acamaram, independentemente da dose de N ($p > 0,05$) (Figura 4). A retirada da panícula reduz a massa da planta, sobretudo na parte superior e, conseqüentemente, sua susceptibilidade ao acamamento.

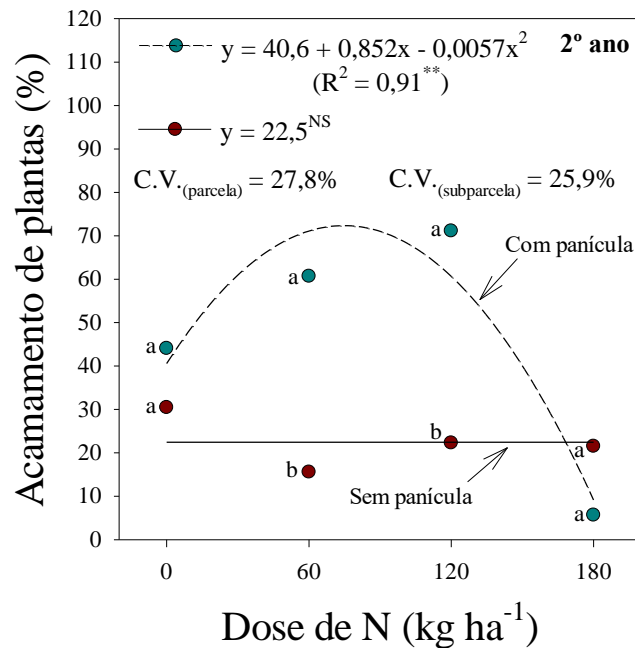


Figura 4. Acamamento de plantas de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio e retirada da panícula em dois anos de cultivo. Letras minúsculas na figura comparam o tratamento com e sem panícula pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Plantas com panícula, porém, apresentaram percentual de acamamento relacionado com as doses de N ($p < 0,01$). Neste caso, verificou-se aumento no número de plantas acamadas até a dose de 75 kg ha^{-1} , chegando a 72% de plantas acamadas. Doses superiores a esta reduziram o acamamento e ao se aplicar 150 kg ha^{-1} de N observou-se percentual de plantas acamadas semelhante ao da testemunha (sem N), cerca de 40%. Todavia, com a aplicação de 180 kg ha^{-1} de N, apenas 9,3% das plantas acamaram (Figura 4).

A ausência de acamamento das plantas no primeiro ano pode estar associada, entre outros fatores, à alta incidência e severidade de Ergot (*Sphacelia sorghi*, fase sexuada = *Claviceps africana*), doença esta que reduz significativamente a massa da panícula, uma vez que o fungo infecta o ovário não fertilizado, ocupando o lugar do pólen e impedindo a produção de grãos (SILVA et al., 2014), o que acabar por reduzir a probabilidade das plantas acamarem.

Quanto à produção de colmos, bagaço e caldo no primeiro ano (Figuras 5A, 6A e 7A), não houve influência significativa das doses de N, independentemente da retirada da panícula ($p > 0,05$) e, na comparação entre as condições de retirada da panícula dentro de cada dose de N, verificou-se diferença significativa apenas na dose de 120 kg ha^{-1} de N, quando a produção das plantas sem panícula foi superior ($p < 0,05$). A ausência de resposta às doses de N pode estar relacionada à baixa produtividade obtida neste ano e também à incorporação de grande quantidade de material vegetal durante o preparo do solo. A quantidade de N disponibilizada pela mineralização deste material pode ter sido suficiente para a cultura naquele ano.

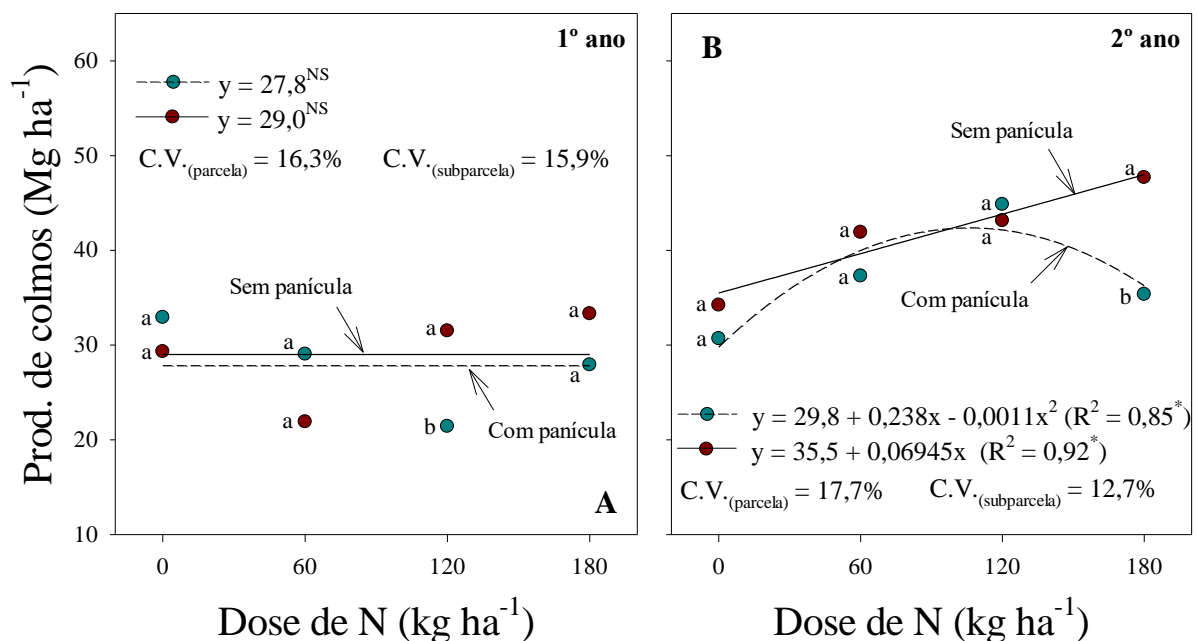


Figura 5. Produção de colmos de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio e retirada da panícula, em dois anos de cultivo. Letras minúsculas na figura comparam o tratamento com e sem panícula pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

No segundo ano, entretanto, a produção de colmos foi significativamente influenciada pelas doses de N ($p < 0,05$) (Figura 5B). Nas plantas sem panícula verificou-se incremento linear da produção de colmo em função do aumento das doses de N. Para cada 1 kg ha^{-1} de N aplicado houve aumento de, aproximadamente, $69,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de colmos. Na maior dose (180 kg ha^{-1} de N) a produção foi de 48 Mg ha^{-1} , valor 35,2% superior ao obtido sem a aplicação do nutriente. Já nas plantas com panícula, o incremento na produção decorrente do maior fornecimento de N ocorreu até a dose 108 kg ha^{-1} de N. Com a aplicação dessa dose a produção foi de $42,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ de colmo. Doses superiores a essa reduziram a produtividade e

com o fornecimento de 180 kg ha⁻¹ de N observou-se produção de 37 Mg ha⁻¹. Na maior dose do nutriente (180 kg ha⁻¹ de N) a produção das plantas sem panícula foi significativamente superior ($p < 0,01$) e 29,7% maior do que aquela verificada nas plantas com panícula.

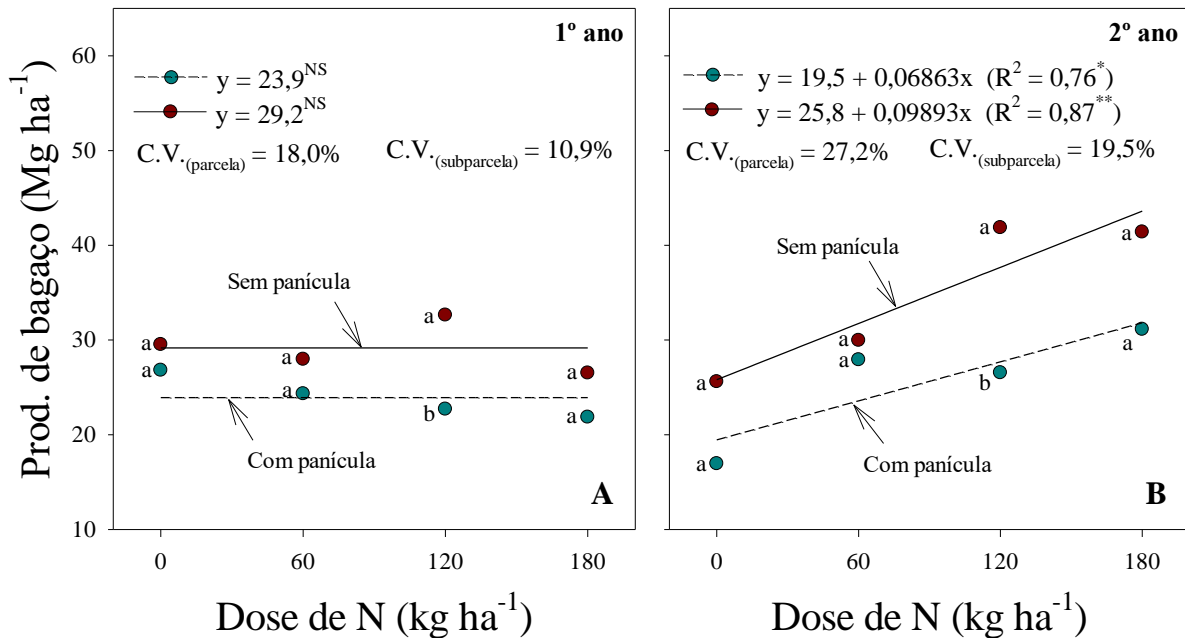


Figura 6. Produção de bagaço de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio e retirada da panícula em dois anos de cultivo. Letras minúsculas na figura comparam o tratamento com e sem panícula pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Assim como neste estudo, Jardim et al. (2015) verificaram que as doses de N influenciaram a produção de massa fresca de colmo do sorgo sacarino (cv. BRS 506). Os autores notaram que a produção de massa fresca de colmo aumentou de forma linear a medida em que se aumentou a dose de N, atingindo 69,4 Mg ha⁻¹ com a dose de 200 kg ha⁻¹ de N.

Em áreas de reforma de canaviais, tem-se obtido produtividades próximas a 40 Mg ha⁻¹ de massa de colmo (MAY et al., 2014) e nas melhores condições de cultivo tem-se observado produções superiores a 70 Mg ha⁻¹ de colmos (FERNANDES et al., 2014). No entanto, de acordo com Bolonhezi et al. (2014), a produção mínima exigida pelas indústrias sucroenergéticas para a produção do sorgo sacarino é de 50 Mg ha⁻¹. Genótipos com colmos de porte alto e diâmetro grosso, alta percentagem de caldo extraído e com alto teor de sólidos solúveis e qualidade são os preferidos para a produção de biocombustível, além alta resistência a acamamento, doenças e seca (RATNAVATHI et al., 2010).

A baixa produção de colmo obtida no primeiro ano (Figura 5A), provavelmente, deve-se a alta incidência e severidade de Ergot e antracnose foliar (*Colletotrichum sublineolum*) [dados não apresentados] e também à menor precipitação em relação segundo ano (Figura 1). No mesmo período, de dezembro a maio, foi registrado no segundo ano um volume de chuva 36% superior ao do primeiro.

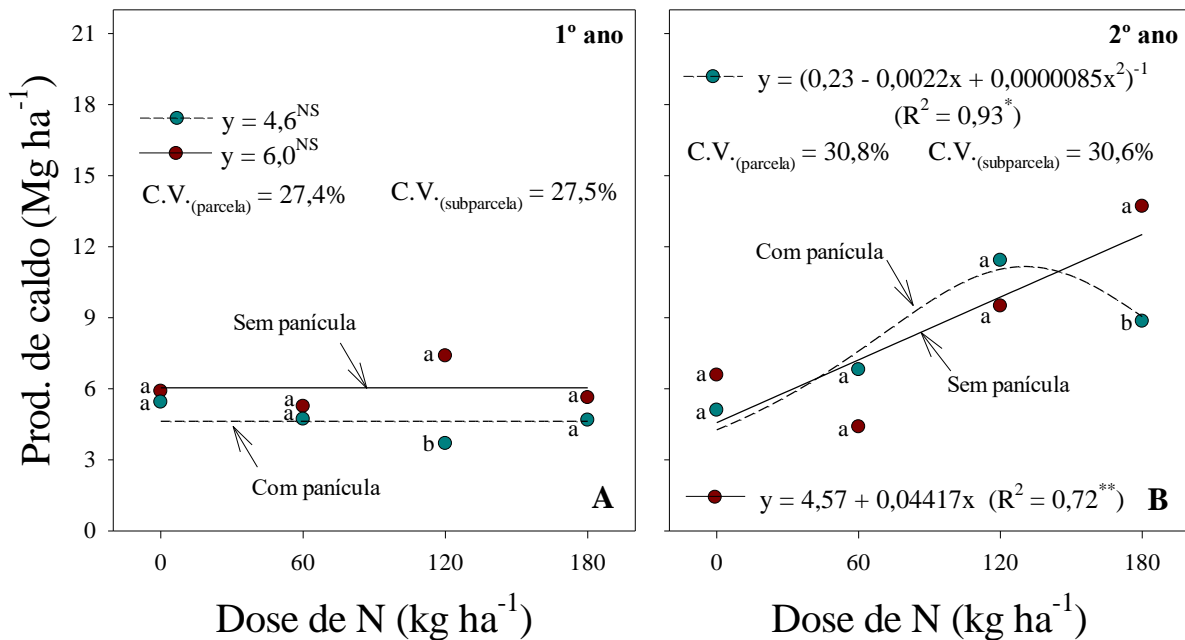


Figura 7. Produção de caldo de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio e retirada da panícula em dois anos de cultivo. Letras minúsculas na figura comparam o tratamento com e sem panícula pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ainda no segundo ano, para plantas sem panícula, verificou-se incremento linear ($p < 0,01$) tanto na produção de bagaço (Figura 6B) quanto na de caldo (Figura 7B). As produções máximas obtidas foram 43,6 e 12,5 Mg ha⁻¹ para bagaço e caldo, respectivamente. Já as plantas com panícula tiveram apenas a produção de bagaço linearmente incrementada na medida em que se aplicou mais N ($p < 0,05$) e com a aplicação da maior dose foram obtidas 31,9 Mg ha⁻¹ (Figura 6B).

A produção de caldo, entretanto, aumentou até a dose de 129 kg ha⁻¹ de N (11,41 Mg ha⁻¹). Doses superiores a essa reduziram a produção de caldo e, na maior dose (180 kg ha⁻¹), o valor obtido foi significativamente inferior ($p < 0,01$) ao verificado nas plantas sem panícula (Figura 7B). A remoção da panícula antes da polinização e enchimento de grãos pode afetar a concentração de açúcares nos colmos do sorgo sacarino, uma vez que os fotossintatos que

seriam usados para formação dos grãos poderiam ser armazenados como açúcares no caldo das plantas (BROADHEAD, 1980).

4.2. EXPERIMENTO 2: POPULAÇÃO DE PLANTAS E DOSES DE NITROGÊNIO

Neste estudo, para nenhuma das variáveis notou-se interação significativa entre as causas de variação ($p > 0,05$).

Verifica-se, na Figura 8, que o diâmetro de colmo foi influenciado pelos tratamentos apenas no segundo ano de cultivo. Esse resultado é importante, uma vez que o diâmetro é uma variável que, normalmente, correlaciona-se com a produtividade, pois plantas com diâmetros de colmos maiores resultarão em acréscimo no peso final e maior acúmulo de caldo (BANDEIRA et al., 2016).

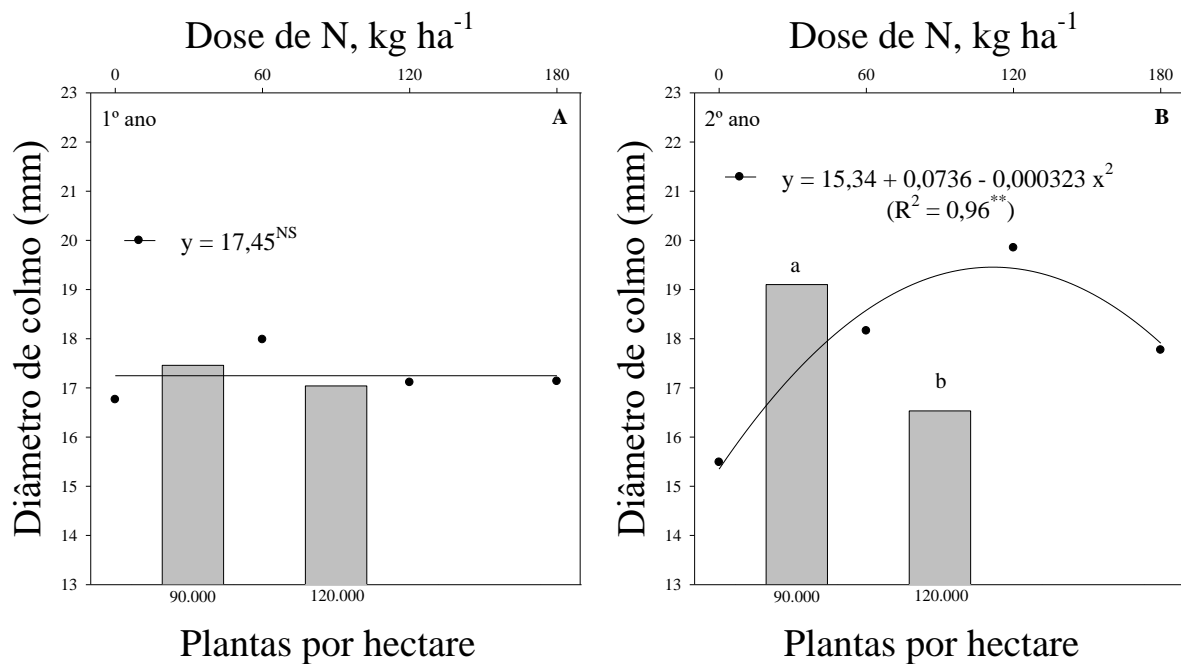


Figura 8. Diâmetro de colmo de plantas de sorgo sacarino em função da população de plantas e doses de nitrogênio em dois anos de cultivo.

No primeiro ano as plantas apresentaram diâmetro de colmo de 17,2 mm ($p > 0,05$), independentemente do tratamento (Figura 8A). No entanto, no segundo ano, a menor população de plantas proporcionou colmos com maior diâmetro (19,1 mm) do que quando foi adotada a população de 120.000 plantas ha⁻¹ ($p < 0,01$), condição em que as plantas

apresentavam 16,5 mm de diâmetro. Nesse ano também foi observado que o aumento das doses de N até 114 kg ha⁻¹ do nutriente proporcionou incremento no diâmetro do colmo ($p < 0,01$). Com essa dose de N as plantas apresentavam colmos com 19,5 mm de diâmetro. Doses superiores reduziram o valor da variável (Figura 8B).

Além do diâmetro de colmo, a produção de biomassa do sorgo sacarino geralmente está relacionada com a altura de planta (NASCIMENTO, 2008). Segundo Martins et. al. (2017) trata-se de um dos caracteres de maior importância para o sorgo sacarino visando a produção de etanol.

Neste experimento, quanto à altura de plantas, notou-se que houve redução linear dessa variável em decorrência do incremento das doses de N ($p < 0,01$) no primeiro ano de cultivo. As plantas sem N apresentaram 2,90 m de altura, enquanto que aquelas que receberam 180 kg ha⁻¹ do nutriente possuíam 2,75 m (Figura 9A). Nesse ano, independentemente da população de plantas, a altura das plantas foi de 2,82 m ($p > 0,05$). No segundo ano não houve influência dos tratamentos na altura de plantas ($p > 0,05$), que foi em média 3,08 m (Figura 9B). Assim como neste trabalho, Parrella et al. (2010) verificaram que as plantas de sorgo sacarino apresentaram de 2,57 a 3,09 m.

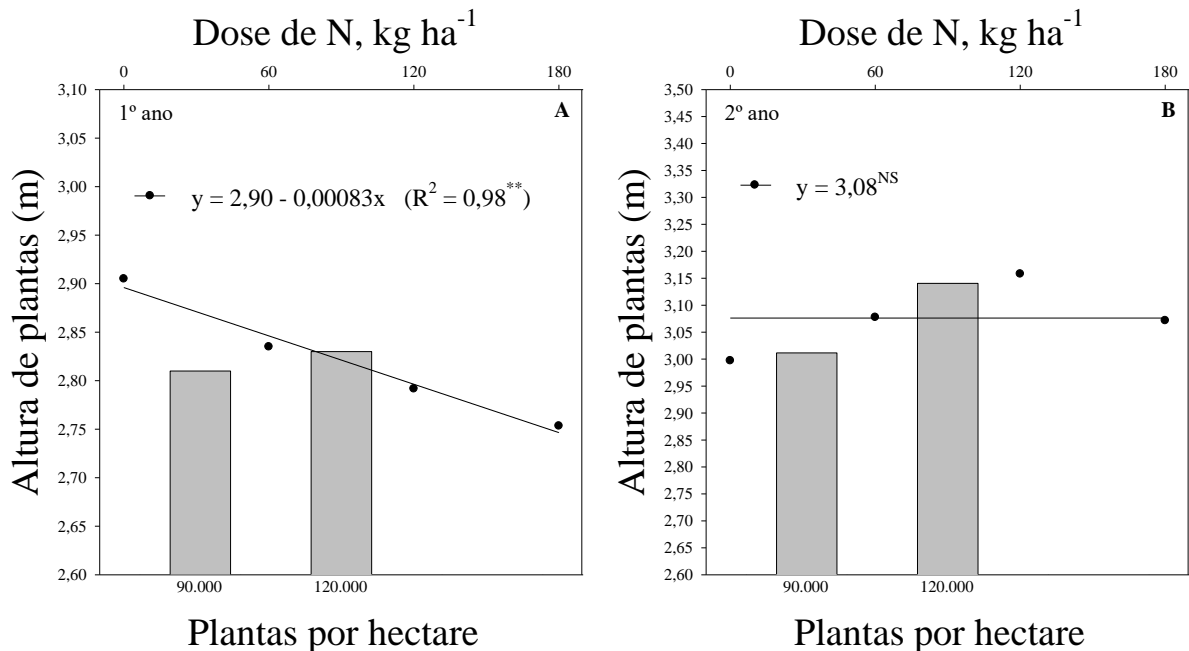


Figura 9. Altura de plantas de sorgo sacarino em função da população de plantas e doses de nitrogênio em dois anos de cultivo.

A produção de colmos foi influenciada apenas no segundo ano de cultivo. No primeiro ano, independentemente dos tratamentos ($p > 0,05$), a produção foi de 26.993 kg ha⁻¹ (Figura

10A). No outro ano, embora a produção não tenha sido alterada pela população de plantas ($p > 0,05$), o incremento da dose de N até, aproximadamente, 119 kg ha^{-1} de N aumentou a produção de plantas que, nesta condição, foi de $36.185 \text{ kg ha}^{-1}$ de colmos (Figura 10B).

Parrella et. al. (2018) em seu estudo mostram que a produtividade de etanol das cultivares de sorgo sacarino está associada ao rendimento de colmos por hectare, umidade da biomassa, percentagens de extração de caldo, as quais irão refletir em litros de etanol por tonelada de colmos. Neste contexto, a produtividade de colmos das cultivares é uma característica fortemente associada à produtividade de etanol por hectare, uma vez que o caldo rico em açúcares fermentáveis é extraído em sua totalidade dos colmos. Assim, quanto maior o rendimento de colmos, maior será a produtividade de caldo por hectare e por consequência maior volume de etanol produzido (MURRAY et al., 2008; RITTER et al., 2008; LOMBARDI et al.; 2015).

Em estudos realizados no Mato Grosso, a cultivar BRS 506 produziu aproximadamente 65 t ha^{-1} de colmos no espaçamento de $0,5 \text{ m}$ entrelinhas e a população de 80.000 plantas ha^{-1} foi considerada a mais adequada (SILVA et al., 2016).

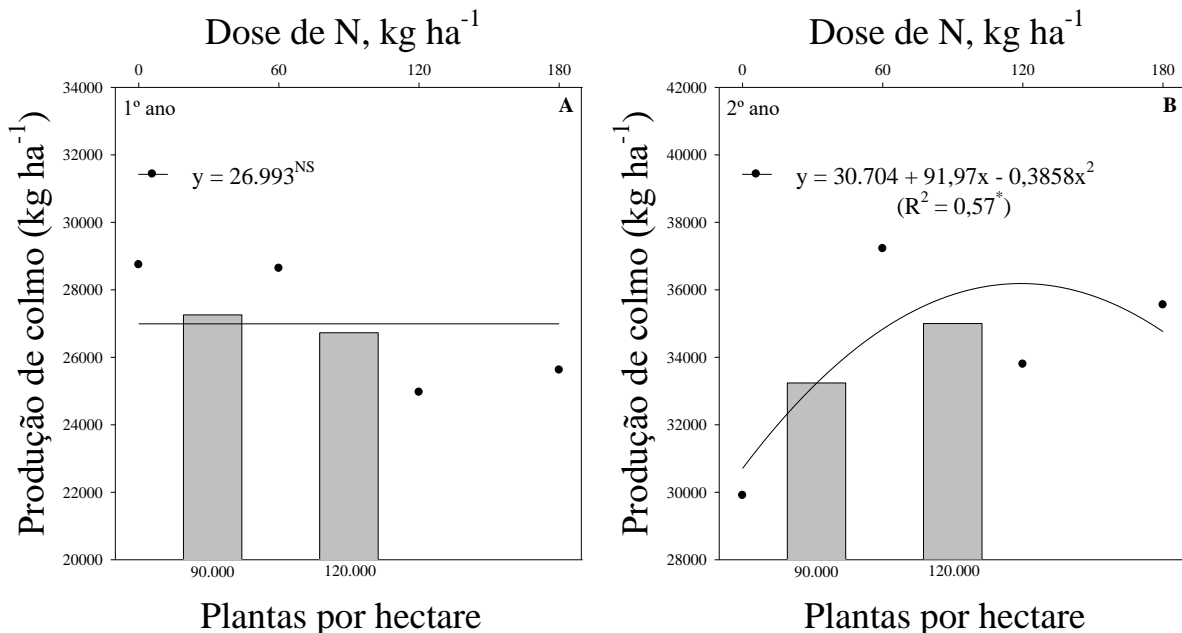


Figura 10. Produção de colmo de sorgo sacarino em função da população de plantas e doses de nitrogênio em dois anos de cultivo.

Assim como a produção de colmos, a produção de bagaço foi influenciada apenas pelas doses de N no segundo ano ($p < 0,05$). Porém, para esta variável, notou incremento

linear a produção à medida em que se aumentou a dose de N. A maior dose do nutriente (180 kg ha⁻¹ de N) proporcionou 32.504 kg ha⁻¹ de bagaço, valor 48% superior ao obtido quando a adubação nitrogenada de cobertura não foi realizada (Figura 11B). No primeiro ano a produção média de bagaço foi de 24895 kg ha⁻¹, independentemente do tratamento ($p > 0,05$) (Figura 11A). Este resultado é interessante, visto que palhas de milho, trigo e arroz; bagaços e palhadas de cana-de-açúcar e sorgo sacarino têm potencial para produção de etanol de segunda geração, tanto a nível nacional e internacional (MILANEZ et al., 2015).

Esta produção de etanol de segunda geração (lignocelulósico), por meio do aproveitamento do bagaço do sorgo sacarino, é mais uma forma para se agregar valor à cadeia produtiva da cultura. O bagaço é uma fonte de celulose (polímero de glicose), hemicelulose (várias unidades ligadas entre si de pentoses e hexoses) e lignina (polímero de fenóis), que quando isoladas podem produzir uma série de compostos de interesse comercial. Além da vantagem com relação à sua composição, o bagaço do sorgo é conceituado como uma matéria de baixo custo, onde o seu aproveitamento aumenta a produtividade por área plantada (RATNAVATHI et al., 2011).

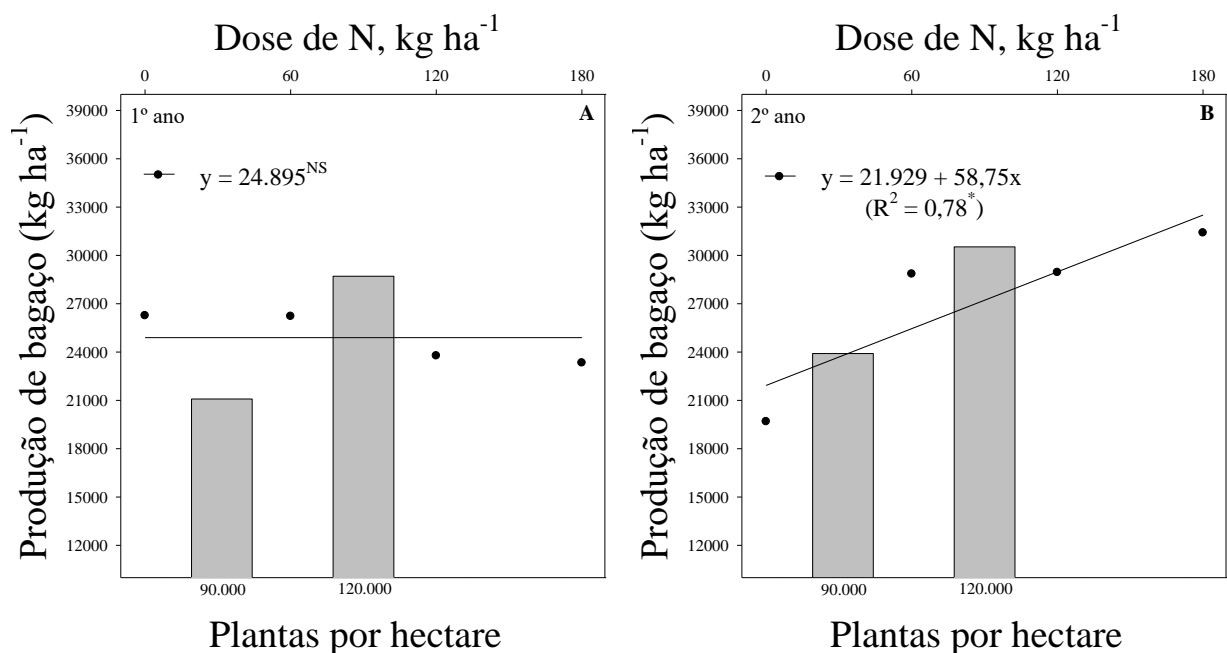


Figura 11. Produção de bagaço de sorgo sacarino em função da população de plantas e doses de nitrogênio em dois anos de cultivo.

As doses de N não afetaram a produção de caldo no primeiro ano ($p > 0,05$). No entanto, foram produzidos 10333 kg ha⁻¹ ao se adotar a população de 120.000 plantas ha⁻¹,

valor 43% superior ao obtido com 90.000 plantas ha^{-1} ($p < 0,05$) (Figura 12A). No segundo ano não foi notada influência dos tratamentos na produção de caldo ($p > 0,05$) que foi, em média, 8771 kg ha^{-1} (Figura 12B). Porém em comparação com a cana-de-açúcar, o caldo do sorgo sacarino contém 11,8% de açúcares, consistindo em sacarose, glicose e frutose, que podem ser prontamente convertidos em etanol, enquanto que a cana possui 9,8%. Assim, o sorgo sacarino pode produzir mais etanol a partir do caldo do que a cana-de-açúcar (KIM; DAY, 2011).

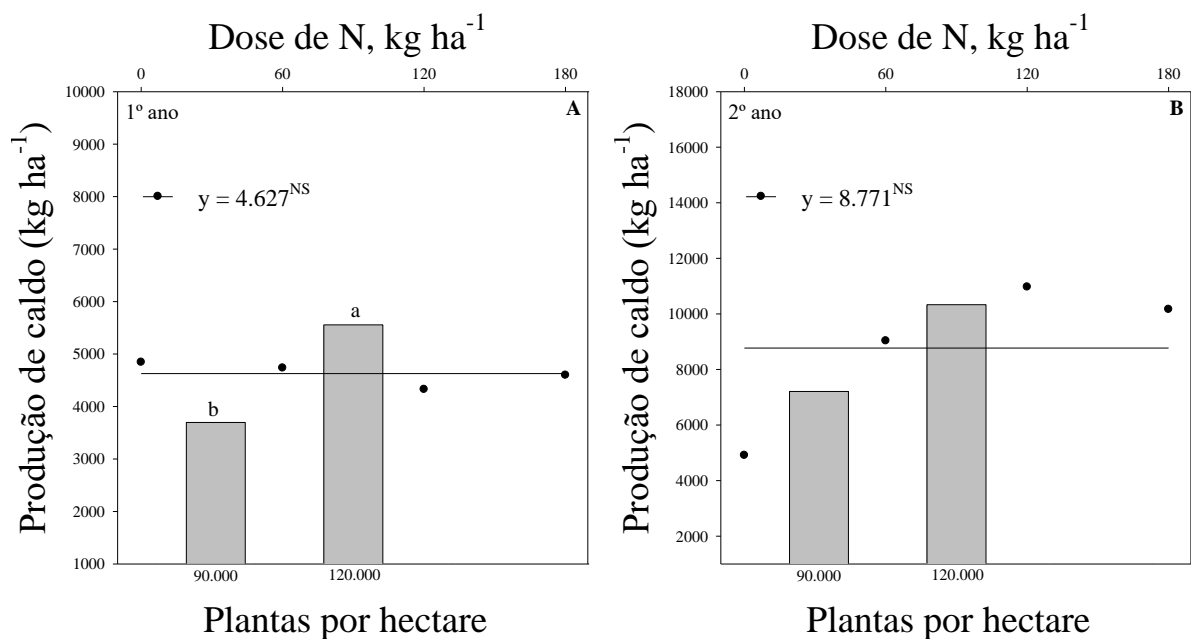


Figura 12. Produção de colmo de caldo sacarino em função da população de plantas e doses de nitrogênio em dois anos de cultivo.

5 CONCLUSÕES

5.1. EXPERIMENTO 1

A retirada da panícula pode proporcionar maior produtividade de colmo e caldo de sorgo sacarino.

Ao se retirar a panícula a aplicação de 180 kg ha⁻¹ de N propicia as maiores produtividades de colmo e caldo.

Em plantas com panícula, as doses de 108 e 129 kg ha⁻¹ de N proporcionam as máximas produtividades de colmo e caldo, respectivamente.

Doses superiores a 150 kg ha⁻¹ de N reduzem o acamamento de plantas de sorgo sacarino com panícula.

5.2. EXPERIMENTO 2

As maiores produtividades de colmo e bagaço de sorgo sacarino são obtidas com a aplicação de 119 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura respectivamente.

O cultivo com 120.000 plantas ha⁻¹ pode proporcionar maior produtividade de caldo de sorgo sacarino.

6 REFERÊNCIAS

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 localidades de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas-MG, v. 11, n. 1, p. 69-85, 2012.

ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 9, p. 772-780, 2009.

ALMODARES, A.; HADI, M.R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v.4, p.772-780, 2008.

AMEEN, A.; YANG, X.; CHEN, F.; TANG, C.; DU, F.; FAHAD, S.; XIE, G. H. Biomass yield and nutrient uptake of energy sorghum in response to nitrogen fertilizer rate on marginal land in a semi-arid region. **Bioenergy Research**, v. 10, n. 2, p. 363-376, 2017.

ARGENTA, G; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n.6, p. 1075-1084, 2001.

BABIKER, E. A.; SALIH, A.A.; MOHAMED, B. A. Response of sorghum (*Sorghum bicolor* L). Moench) to NP fertilizers and. cropping sequences on irrigated vertisols of the Rahad Scheme. **Sudan Journal of Agricultural Research**, Wad Medani, v. 2, p. 135-146, 1999.

BANDEIRA, A. H.; MEDEIROS, S. L. P.; EMYGDIO, B. M.; COSTA, A. B.; MULLER, L. C. C.; LEAL, L. T.; NUNES, S. C. P. Biometria de genótipos de sorgo sacarino em diferentes épocas de semeadura na Depressão Central do RS. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31, 2016, Bento Gonçalves. Milho e Sorgo: inovações mercado e segurança alimentar. **Anais...** Bento Gonçalves, 2016.

BARBIERI, P.A.; ECHEVERRIA, H.E.; ROZAS, H.R.S.; ANDRADE, F. H. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. **Agronomy Journal**, v.100, p.1094-1100, 2008.

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

BECK HE; ZIMMERMANN NE; MCVICAR TR; VERGOPOLAN N; BERG A; WOOD EF. 2018. **Present and future Köppen–Geiger climate classification maps at 1-km resolution**. *Scientific Data* 1: 1-12.

BOLONHEZI, D; FREITAS, R.S.; SAWAZAKI, E. Sorgo sacarino e sorgo biomassa. In: Aguiar et al. (Ed.) Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 2014. p. 377-379. (Boletim 200).

BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. A. da C. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2014.

BROADHEAD, D.M.; FREEMAN, K.C. Stalk and sugar yield of sweet sorghum as affected by spacing. *Agronomy Journal*, v.72, p.523-524, 1980.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **2º levantamento cana-de-açúcar safra 2013/2014** – Ago/2013. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_can>. Acesso em: 20 jun. 2022.

COUTINHO, E.L.M.; FARES, J.C.; PINTO, A.G.; SOUZA, E.C.A. de. Efeitos da adubação nitrogenada e potássica na cultura do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench), avaliados pela diagnose foliar, produção de colmos e etanol. *Científica*, v.16, p.261-270, 1988.

COUTINHO, E.L.M.; NEPTUNE, A.M.L.; SOUZA, E.C.A.; SORIANO, A.G. Calagem e diagnose foliar em sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v.42, p.33-49, 1985.

COUTINHO, E.L.M.; SOUZA, E.C.A. de; TEDRUS, P.F.A.S.; BANZATTO, D.A. Efeitos da adubação nitrogenada e fosfatada na cultura do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench), avaliados pela diagnose foliar, produção de colmos e etanol. **Científica**, v.15, p.137-146, 1987.

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 14-52, 2011.

DUTRA, E.D. et al. Produção de etanol a partir do mosto do colmo de diferentes cultivares de sorgo sacarino em Pernambuco. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS, 18., 2011, Caxias do SUL, RS. **Anais...** Caxias do Sul/RS: SINAFERM, 2011. 6p.

FERNANDES, P. G.; MAY, A.; COELHO, F. C.; ABREU, M. C.; BERTOLINO, K. M. Influência do espaçamento e da população de plantas de sorgo sacarino em diferentes épocas de semeadura. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, p. 975-981, 2014.

GUTTE, A.V.; KARANJIKAR, P.N. Effect of plant densities and fertilizer levels on growth and yield of sweet sorghum. **Asian Journal of Soil Science**, v.2, n.2, p.150-152, 2007.

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

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; DIDONET, A.D.; TRINDADE, M. da G.; SOARES, B.B.; MOREIRA, J.A.A.; CÁNOVAS, A.D. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.352-356, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário. 2022.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Gráficos. 2021. 08 de novembro. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php/gráficos>.

JARDIM, C.A.; PEREIRA, S.A.P.; PEREIRA, J.G.B.P.; FRANCO, C.F.; MINGOTTE, F.L.C. Adubação nitrogenada na produção de sorgo sacarino BRS 506 para alimentação animal. **Ciência & Tecnologia**, v. 7, p.37-41, 2015. Suplemento.

KARLEN, D. L. Cellulosic energy cropping systems. USDA, **Agricultural Research Service**, National Laboratory for Agriculture and the Environment. USA, 2014.

KIM, M.; DAY, D. F. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, p. 803-807, 2011.

LARA, J. de P.; BORGES, I. D.; SANTOS, F. C. dos; PARRELLA, R. A. da C. Desempenho agroindustrial do sorgo sacarino submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n.3 p. 474-489, 2018.

LIMA, C.G.; SILVA, P.C.; COSTA, R.A.; ALVES, Y.; MARTINS, M.; LANA, R.M.Q. Aplicação de diferentes doses de uréia polimerizada sob o desenvolvimento vegetativo de plantas de sorgo sacarino. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17; p.224-232, 2013.

LOMBARDI, G. M. R.; NUNES, J. A. R.; PARRELLA, R. A. C.; TEIXEIRA, D. H. L.; BRUZI, A. T.; DURÃES, N. N. L.; FAGUNDES, T. G. Path analysis of agro-industrial traits in sweet sorghum. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 16392-16402, 2015.

MANOCHIO, C.; ANDRADE, B. R.; RODRIGUEZ, R. P.; MORAES, B. S. Ethanol from biomass: A comparative overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. vol. 80, pp. 743-755, 2017.

MARCHIORI, L.F. **Influência da época de plantio e corte na produtividade de cana-de-açúcar**. 2004. 277 f. Tese (Doutorado) -ESALQ/USP, Piracicaba, 2004.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. (Ed.) Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p.143-168.

MARTINS, A. M.; PARRELLA, R. D. C.; LOPES, D. D. C.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, N. N. L. D.; NEVES, W. D. S.; SILVA, A. Período de utilização industrial de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 217-231, 2017.

MATHUR, S.; UMAKANTH, A.V.; TONAPI, V.A.; SHARMA, R.; SHARMA, M. K. Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources. **Biotechnology for Biofuels**, v. 10, n. 146, p. 1-19, 2017.

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

MAY, A.; PARRELLA, R. A. da C.; DAMASCENO, C. M. B.; SIMEONE, M. L. F. Sorgo como matéria-prima para produção de bioenergia: etanol e cogeração. **Informe Agropecuário**, v. 35, n. 278, p. 14-20, 2014.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; SOUSA, L. C.; BONOMI, A. M. F. L. J.; JESUS, C. D. F. D.; JUNQUEIRA, T. L. De promessa à realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.41, 2015.

MOREY, S.R.; HASHIDA, Y.; OHSUGI, R.; YAMAGISHI, J.; AOKI, N. Evaluation of performance of sorghum varieties grown in Tokyo for sugar accumulation and its correlation with vacuolar invertase genes Sblnv 1 and Sblnv 2. **Plant Production Science**. v. 21, n. 1, p. 328-338, 2018.

MURRAY, S. C.; ROONEY, W. L.; HAMBLIN, M. T.; MITCHELL, S. E.; KRESOVICH, S. Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for brix and height. **The Plant Genome**, v. 2, n. 1, p. 48-62, 2008.

NASCIMENTO, R. Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidades de água no solo. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 23, n. 1, p. 53-54. 2008.

OLIVEIRA, N. G. de. PELLOSO, M. F.; SILVA, M. G. da; SILVA, A. P. da. Desempenho agrônômico do sorgo sacarino em função do espaçamento entrelinhas e população de plantas. **Acta Iguazu**, v.8, n.4, p.1-16, 2019.

PARRELLA, R. A. C.; MENEGUCI, J. L. P.; RIBEIRO, A.; SILVA, A. R.; PARRELA, N. N. L. D.; RODRIGUES, J. A. dos S.; TARDIN, F. D.; SCHAFFERT, R. E. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diversos ambientes visando produção de etanol. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia, GO. Anais... Goiânia: ABMS, 2010. p. 2858-2866.

PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT, R. E.; MENEZES, C. B. de; RODRIGUES, J. A. S.; MAGALHÃES, J. V.; DAMASCENO, C. M. B.; SILVA, D. D. da; MENDES, S. M. Improving sorghum cultivation in South America. In: ROONEY, W. (ed.). Achieving sustainable cultivation of sorghum: sorghum utilization around the world. **Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing**, V. 2, p. 159-192, 2018.

PITTA, G. V. E.; VASCONCELLOS, C. A.; ALVES, V. M. C. Fertilidade do solo e nutrição mineral do sorgo forrageiro. 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, Embrapa Milho e Sorgo, 2001. p. 519-544.

PRADO, S.R.H.; REZENDE, A.S.C.; INÁCIO, D.F.S.; NORBERTO, F.; QUEIROZ, J.N.S.M.; MELO, M.M.; MOREIRA, D.C.A.; MENDES, L.J.; PEIXOTO, J.L.; CRISTELI, J.H. Feeding behavior of mangalarga marchador weanlings fed sorghum silage versus grass hay. **Journal of Equine Veterinary Science**. 75(1): 90-92, 2019.

RATNAVATHI, C. V.; CHAKRAVARTHY, S. K.; KOMALA, V. V.; CHAVAN, U. D.; PATIL, J. V. Sweet Sorghum as Feedstock for Biofuel Production. **A Review. Sugar Technology**, v. 13, n. 4, p. 399–407, 2011.

RATNAVATHI, C. V.; SURESH, K.; VIJAY KUMAR, B. S.; PALLAVI, M.; KOMALA, V. V.; SEETHARAMA, N. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. **Biomass and Bioenergy, Oxford**, v. 34, n. 7, p. 947-952, 2010.

REDDY, B.V.S. et al. Sweet sorghum- a potential alternate raw material for bio-ethanol and bio-energy. **Sorghum Millets Newslett**, Patancheru, India, v.46, p.79-86, 2005.

RITTER, K. B.; JORDAN, D. R.; CHAPMAN, S. C.; GODWIN, I. D.; MACE, E. S.; LYNNE, C. Identification of QTL for sugar-related traits in a Sweet 3 grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) recombinant inbred population. **Molecular Breeding**, v. 22, p. 367-384, 2008.

SANTOS, F. S.; QUEIROZ, J. H. de; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v.35, n.5, p. 1004-1010, 2012.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 5.ed., 2018.

SILVA, A. F. et al. Influência do espaçamento entrelinhas e da população de plantas no desempenho produtivo de sorgo sacarino no meio norte do Mato Grosso. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2016. 16 p. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 134**).

SILVA, D. D. da; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; PARREIRA, D. F. Principais doenças do sorgo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 102-111, 2014.

SILVA, T.M.; OLIVEIRA, A.B.; MOURA, J.G.; TRINDADE, B.F.L.; OLIVEIRA, L.S.B. Potential of sweet sorghum juice as a source of ethanol for semi-arid regions: Cultivars and spacing arrangement effects. **Sugar Tech**. v. 21, n.1, p. 145-152, 2019.

TAMANG, P.L.; BRONSON, K.F.; MALAPATI, A.; SCHWARTZ, R.; JOHNSON, J.; MOORE-KUCERA, J. Nitrogen requirements for ethanol production from sweet and photoperiod sensitive sorghums in the southern high plains. **Agronomy Journal**, v.103, p.431-440, 2011.

WHITFIELD, M. B; CHINN, M. S; VEAL, M. W. Processing of materials derived from sweet sorghum from biobased products. **Industrial crops and products**, v. 37, p. 362-375, 2012.

WORLEY, J. W.; CUNDIFF, J. S.; VAUGHAN, D. H.; PARRISH, D. J. Influence of sweet sorghum spacing on stalk pith yield. **Bioresource Technology**, Essex, v. 36, n. 2, 1991.

WORTMANN, C.S.; LISKA, A.J.; FERGUSON, R.B.; LYON, D.J.; KLEIN, R.N.; DWEIKAT, I. Dryland performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel in Nebraska. **Agronomy Journal**, v.102, p.319-326, 2010.