



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



CESAR AUGUSTO SANTANA

**INIBIDOR DE UREASE (NBPT) E A EFICIÊNCIA DA UREIA
APLICADA EM DOSE ÚNICA OU PARCELADA NA CULTURA DO
SORGO SACARINO**

ARARAS - 2018



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



CESAR AUGUSTO SANTANA

**INIBIDOR DE UREASE (NBPT) E A EFICIÊNCIA DA UREIA
APLICADA EM DOSE ÚNICA OU PARCELADA NA CULTURA DO
SORGO SACARINO**

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Marcio Roberto Soares

ARARAS – 2018

Aos meus pais, Rita de Cassia Santin e José Santana Filho, pelo incentivo, dedicação e amor. À meus avós, Nair Braga Santin e Pedro Santin pelo exemplo de vida e amor. Com muita satisfação e orgulho, dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela saúde, sabedoria e todas oportunidades que colocou em meu caminho.

Agradeço a Universidade Federal de São Carlos e ao Centro de Ciências Agrárias pelos ensinamentos em Engenharia Agrônômica, e por toda a vivência no campus que permitiu com que eu crescesse profissional e pessoalmente.

A todos os professores do Campus, mas em especial ao Prof. Dr. Marcio Roberto Soares primeiramente pela amizade e dedicação disposta não só a mim, mas a todos os alunos, também pela confiança creditada em mim. Muito de meu crescimento pessoal e profissional foi espelhado nele.

A minha namorada Gabriela C Salgado por ter me apoiado e muitas vezes não me deixando desanimar, estando sempre ao meu lado.

A meus amigos da faculdade Ana Lucia Scavazza, Paulo H. Pizzi de Santi e Rodrigo Singulane e Guilherme R. Fantini por não medirem esforços em me ajudar.

A todos os integrantes do GEFERT que sempre estiveram dispostos a me ajudar e fazer o melhor para realizar este experimento.

Também agradeço toda minha família pelo apoio e por torcerem por mim nessa etapa.

Sem todos vocês não teria vencido mais essa etapa.

RESUMO

O sorgo sacarino tem sido considerado cultura agrícola com grande potencial para a produção de bioenergia, recomendado para cultivo em áreas de reforma de canaviais para fornecer matéria-prima para a produção de etanol na entressafra de cana-de-açúcar no Brasil. Dependendo do sistema de produção de bioetanol, toda a planta de sorgo sacarino é colhida, havendo grande exportação de nutrientes da área agrícola. Apesar de existirem poucas informações na literatura sobre manejo de adubação mais específica para o sorgo sacarino, atualmente recomenda-se a adubação nitrogenada com 20-40 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 60-120 kg ha⁻¹ de N em cobertura. A volatilização do N proveniente da ureia, fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura brasileira, é uma das principais rotas de perda de N e uma das principais razões da baixa eficiência das adubações nitrogenadas. Uma das práticas recomendadas para redução das perdas de N por volatilização é a incorporação da ureia no solo. Pela dificuldade prática e custos dessa operação, algumas tecnologias inovadoras têm possibilidade a produção de fertilizantes estabilizados, incluindo a ureia com o aditivo N-(n-butil) tiofosfórico triamida (NBPT), substância inibidora da urease que retarda a taxa de hidrólise da ureia e reduz as perdas de N por volatilização. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo de sorgo sacarino adubado com ureia comum e com ureia com inibidor de urease NBPT para o fornecimento do N recomendado em dose total na semeadura ou em dose parcelada na semeadura e em cobertura. O delineamento experimental foi de quatro blocos casualizados, constituído de seis tratamentos: T1 - testemunha (sem adubação); T2 - controle (sem adubação nitrogenada); T3 - ureia comum aplicada no plantio; T4 - ureia comum aplicada parcelada (plantio e cobertura); T5 - ureia com inibidor de urease-NBPT aplicada no plantio; T6 - ureia com inibidor de urease-NBPT aplicada parcelada (plantio e cobertura). Avaliaram-se a altura da planta, a produção de colmos, as massas seca e fresca, a massa da panícula, o diâmetro do colmo, o nº de colmos, o nº de perfilhos e os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S. Os tratamentos não produziram diferenças significativas nos parâmetros biométricos e de produtividade e nos teores foliares de macronutrientes. O híbrido AGRI-001E de sorgo sacarino apresentou, em média, 4,7 m de altura e diâmetro de colmo de 1,5 cm, com produções de massa fresca e de massa seca de 109,2 e 35,1 t ha⁻¹, respectivamente. A produção de colmos foi de 85,7 t ha⁻¹ e esteve bem acima do mínimo aceito pelas indústrias sucroenergéticas (50 t ha⁻¹). Os teores foliares de N, P, Ca e Mg foram considerados adequados. Houve deficiência nutricional de K e de S detectada pela diagnose por análise química do tecido vegetal, sem manifestação de sintomas visíveis.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; fertilizantes estabilizados; adubação nitrogenada; volatilização; híbrido AGRI-001E

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reação de hidrólise da ureia no solo: ação da urease, formação da amônia (NH ₃) e conversão em amônio (NH ₄).	19
Figura 2. Aplicação de ureia na superfície do solo, prática que deve ser evitada. ...	20
Figura 3. Classificação dos fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada. Abreviações: NA = nitrato de amônio, SA = sulfato de amônio, UF = ureia formaldeído, IBDU = isobutiraldeído diureia, CDU = ciclo diureia, NBPT = N-(n-butiril) tiosfórico triamida, DMPP = 3,4 dimetilpirazol fosfato, SCU = ureia revestida com enxofre elementar (S ^o), PSCU = ureia revestida com enxofre elementar (S ^o), URP = ureia revestida com polímeros.	21
Figura 4. Esquema da liberação do fertilizante revestido por polímeros.	22
Figura 5. Modo de ação dos inibidores de urease e nitrificação utilizados como estabilizadores em adubos nitrogenados.	23
Figura 6. Modo de ação do N-(n-butiril) tiosfórico triamida (NBPT) na inativação da enzima urease.....	23
Figura 7. Temperatura máxima (T max), mínima (T min) e média (T med) e precipitação acumulada registrada durante o período de condução do experimento em campo.....	25
Figura 8. Semeadura manual do sorgo sacarino no sulco.	27
Figura 9. Amostragem da folha diagnóstico do sorgo sacarino.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades do sorgo sacarino e da cana-de-açúcar.....	13
Tabela 2. Análise de variância de parâmetros biométricos de sorgo sacarino cultivado com diferentes tipos de ureia e formas de aplicação de adubação nitrogenada.	30
Tabela 3. Análise de variância de teores foliares de macronutrientes de sorgo sacarino cultivado com diferentes tipos de ureia e formas de aplicação de adubação nitrogenada.	30
Tabela 4. Parâmetros biométricos e de produtividade do híbrido simples AGRI-001E de sorgo sacarino, cultivado com diferentes tipos de ureia e formas de aplicação de adubação nitrogenada.....	31
Tabela 5. Teores foliares de macronutrientes em folha diagnóstica do híbrido simples AGRI-001E de sorgo sacarino, cultivado com diferentes tipos de ureia e formas de aplicação de adubação nitrogenada.....	33
Tabela 6. Faixas de teores foliares adequados de macronutrientes para a cultura do sorgo.	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. Matriz energética brasileira	11
2.2. Sorgo Sacarino.....	12
2.2.1. Botânica e fisiologia do sorgo sacarino	14
2.2.2. Aspectos agrônômicos do sorgo sacarino.....	16
2.3. Adubação nitrogenada	18
3. OBJETIVOS.....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1. Análise de variância	30
5.2. Parâmetros biométricos e de produtividade	31
5.3. Teores foliares de macronutrientes	33
6. CONCLUSÕES.....	35
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

A demanda por energia renováveis no mundo tem aumentado nos últimos anos. De acordo com BP Statistical Review of World Energy (2017), a taxa de crescimento anual do consumo de energias renováveis mundial nos últimos 10 anos foi de 16%. Esse crescimento se deve a preocupação com a emissão dos gases do efeito estufa e as incertezas da disponibilidade futura dos recursos não renováveis (MAY et al., 2012)

Dentre as culturas com potencial bioenergético está a cana-de-açúcar, fundamental para a produção brasileira de bioetanol. Estima-se que a área plantada com cana-de-açúcar no Brasil seja de 8,6 milhões de hectares, com previsão de produção 28,2 bilhões de litros de bioetanol (CONAB, 2018). O bioetanol pode ser produzido a partir de diferentes fontes que contenham açúcares diretamente fermentáveis (amiláceas e sacarinas), tais como a cana-de-açúcar, o milho, a beterraba sacarina e o sorgo sacarino (SILVA, 2017).

O sorgo sacarino surge como uma alternativa a cana-de-açúcar para produção de bioetanol sob o ponto de vista agrônomo e industrial. Esta cultura possui o ciclo relativamente curto em comparação a cana-de-açúcar, é pouco exigente em insumos e pode produzir de 60 a 80 t ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa e de 4 a 6 t ha⁻¹ ano⁻¹ de litros de bioetanol (GUPTA; VERMA, 2015; MASSON et al., 2015). Além disso, o sorgo pode ser cultivado na época de reforma do canavial, período em que não há oferta de biomassa para produção de etanol nas usinas (REZENDE; RICHARDSON, 2017).

O grande potencial de produção de bioetanol do sorgo sacarino também requer a adoção de práticas de manejo que resultem em alta produtividade a partir do uso otimizado dos fatores de produção, minimizando os impactos negativos ao meio ambiente. Práticas de manejo adequadas com fertilizantes nitrogenados podem proporcionar maiores produtividades, considerando que o nitrogênio (N) é segundo macronutriente mais requerido pelo sorgo sacarino (316 kg ha⁻¹) (COELHO, 2011; SOARES et al., 2014). A fonte de N mais utilizada na agricultura brasileira é a ureia, pois possui alta concentração de N e melhor relação custo-benefício (MAESTRELO et al., 2014).

No ambiente agrícola, o N está sujeito à várias rotas de perda (lixiviação, volatilização e desnitrificação) e, em função do manejo inadequado, a eficiência da adubação nitrogenada no Brasil é considerada baixa (50%). As taxas de

volatilização do N a partir da ureia podem superar 50%. Trata-se do principal fator para diminuição da eficiência de utilização do N pelas plantas, principalmente quando a ureia é aplicada na superfície do solo (TRIVELIN et al., 2002; SANGOI et al., 2003; TASCA et al., 2011). Nas últimas décadas, emergiram algumas tecnologias aplicadas aos adubos nitrogenados para a diminuição das perdas de N por volatilização, aumentando sua eficiência de uso e a produtividade das culturas. Dentre as tecnologias destacam-se os fertilizantes de liberação lenta, os de liberação controlada e os estabilizados. Fertilizantes estabilizados contém aditivos ou inibidores de substâncias e de processos (STIPP; PROCHNOW 2008). Os inibidores de urease inibem a ação da enzima urease, ou seja, retarda a taxa de hidrólise da ureia no solo, reduzindo as perdas por volatilização de NH_3 (STIPP; PROCHNOW 2008; TRENKEL, 2010).

O sorgo sacarino pode ser cultivado em diversas condições edafoclimáticas, mas ainda encontra dificuldades de estabelecimento na agricultura brasileira, devido, principalmente, à ausência de informações conclusivas sobre o manejo (nutrição e adubação, controle de plantas daninhas, resistência a pragas e doenças) e à quantidade restrita de variedades ou híbridos de alto potencial genético. Considerando o cenário promissor para a ampliação das áreas de cultivo com sorgo sacarino e o reconhecido requerimento da cultura por N, torna-se pertinente o desenvolvimento de estratégias eficientes de adubação que podem considerar o uso de fertilizantes estabilizados, cujo efeito e manejo ainda não estão devidamente subsidiados pela literatura científica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Matriz energética brasileira

O Brasil possui uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo, com 43,5% de sua produção provenientes de fontes hidráulica, madeira e carvão mineral, derivados da cana-de-açúcar (bagaço e etanol) e outros renováveis (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017). A taxa de crescimento anual do consumo de energias renováveis de 2005 a 2015 foi de 16%, esse aumento é devido à preocupação com a emissão dos gases do efeito estufa e as incertezas da disponibilidade futuras dos recursos não renováveis (MAY et al., 2012; BP, 2017).

Para a melhoria na segurança energética e para redução de emissão dos gases causadores do efeito estufa foi criado uma política de estado chamada Renovabio que tem como estratégia reconhecer todos os biocombustíveis na matriz energética brasileira e tendo como objetivos: cumprir os compromissos firmados do Acordo de Paris, adequar a expansão dos biocombustíveis na matriz energética brasileira e induzir ganhos de eficiência energética e redução de emissões de gases nocivos na produção, comercialização e usos dos biocombustíveis assegurando previsibilidade para o mercado de combustíveis. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017).

Segundo Ministério de Minas e Energia (2017), a oferta total de bioenergia no Brasil em 2016 foi de 29,9% da sua matriz energética, sendo que 17,5% dessa matriz corresponderam aos produtos da cana-de-açúcar (bagaço e etanol) e 8% correspondem a lenha. Isso demonstra que o etanol no Brasil possui uma posição de destaque como fonte energética.

No mundo, os Estados Unidos (EUA) e o Brasil são os maiores produtores de etanol com 58% e 26% da produção mundial em 2017, respectivamente (RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2017). Em 2017, a produção de etanol brasileira e estadunidense foi estimada em 27 e 60 bilhões de litros, respectivamente, sendo basicamente produzidos da cana-de-açúcar e do milho (CONAB, 2017; RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2017)

O etanol pode ser produzido a partir de várias culturas agrícolas que apresentam importantes quantidades de açúcares diretamente fermentáveis (amiláceas e sacarinas), incluindo a cana-de-açúcar, o milho, a beterraba sacarina e

o sorgo sacarino. Diferentemente dos EUA, a produção de etanol brasileiro não compete diretamente com a produção de alimentos, já que cana-de-açúcar não é considerada matéria prima alimentícia (SILVA, 2017).

Embora o Brasil produza etanol a partir da cana-de-açúcar, o país possui aptidão edafoclimática para a exploração de outras culturas alternativas sob o ponto de vista agrônomo, industrial e bioenergético.

Em comparação com a cana de açúcar, o sorgo sacarino possui um ciclo relativo curto (90 a 150 dias) podendo produzir até 6 t ha⁻¹ ano⁻¹ de litros de etanol (GUPTA; VERMA, 2015; MASSON et al., 2015).

Na China, o custo da produção do litro de etanol a partir do sorgo sacarino é de aproximadamente US\$ 0,29, sendo US\$ 0,07 a mais do que o custo de produção de etanol da cana-de-açúcar no Brasil (US\$ 0,22 L⁻¹). Entretanto, considerando que o sorgo pode ser cultivado na época de reforma do canavial, período o qual não teria matéria prima para produção de etanol, e que sua produção é pouco exigente em aportes de insumos, a produção de sorgo sacarino poderia reduzir o custo para as unidades sucroenergéticas, distribuindo o custo fixo em mais etanol (REZENDE; RICHARDSON, 2017). Segundo mesmos autores, em análise de simulação em uma usina no Estado de São Paulo, verificaram que a adição de sorgo sacarino em 20% da área de cultivo da cana-de-açúcar poderia aumentar a média anual da renda líquida nas usinas produtoras de etanol.

2.2. Sorgo Sacarino

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] originou-se e foi domesticado no continente Africano (DOGGET, 1988). Nas Américas, as primeiras sementes de sorgo foram introduzidas nos Estados Unidos, trazidas da África pelos escravos em meados do século XIX. Em 1940, o sorgo foi extensamente cultivado para produção de xarope e melão (DOGGET, 1988; RIBAS, 2014). No Brasil, o sorgo foi introduzido em meados do século XX através de imigrantes africanos em diferentes regiões, sendo utilizados para a produção de melão, cachaça e alimentação animal (RIBAS, 2014).

Em escala global, o sorgo tem grande importância por se tratar do quinto cereal mais produzido, depois do arroz, trigo, milho e cevada, e pela versatilidade de uso na alimentação animal e humana e produção de energia (etanol) (DAHLBERG et al., 2011).

Na produção de etanol, pode-se utilizar do sorgo sacarino ou biomassa que possui os colmos ricos em açúcares (RIBAS, 2014). O sorgo tem um grande potencial para composição da matriz energética brasileira, pois pode ter maior produção de etanol por área e menor requerimento de insumos, além de possuir , ciclo relativamente curto (variando de 60-210 dias) e adaptação de plantio a condições marginalizadas, com estresse hídrico, salinidade, alcalinidade, entre outros (FERNANDES et al., 2014; REGASSA; WORTMANN, 2014; RIBAS, 2014).

O sorgo sacarino possui menores produtividade, teores de açúcares redutores totais e rendimentos na produção de etanol quando comparado a cana-de-açúcar. Entretanto, o sorgo tem um ciclo menor que possibilita o cultivo de duas safra no ano, ou de uma safra na reforma do canavial, com menores requerimentos de fertilizantes (NPK) (Tabela 1) (TEXEIRA et al., 1997; KIM; DAY, 2011). Economicamente é vantajoso o cultivo de sorgo sacarino na reforma no canavial para usinas produtoras de açúcar/etanol. As incertezas sobre a produtividade e os efeitos na mão-de-obra podem ser fatores que tardam a taxa de adoção da cultura, mas o aumento na produtividade do sorgo seria uma forma de incentivar a adoção desta prática (REZENDE; RICHARDSON, 2017).

Tabela 1. Propriedades do sorgo sacarino e da cana-de-açúcar.

Propriedades	Unidades	Sorgo sacarino	Cana-de-açúcar
Ciclo	meses	3,5 a 4	10-18
Cultivos	n° ano ⁻¹	Dois	Um
Produtividade	t ha ⁻¹ ano ⁻¹	48-60	55 a 70
Brix°	-	11-13	13-15
Açúcares Redutores	%	6	3
Açúcares Redutores Totais	ART t ¹	96	105
Sacarose	%	24	29
Umidade	%	68	69
Álcool a 100° GL	L t ¹	62	68
Fibras	%	13	14
Recomendação (NPK)	kg ha ⁻¹	140:80:160	100:110:120

*Fonte: Teixeira et al. (1997); Kim e Day (2011); Bolonhezi; Freitas; Sawazaki (2014); Landell et. al (2014).

2.2.1. Botânica e fisiologia do sorgo sacarino

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] pertence à família Poaceae e é uma espécie monoica, autógama, com uma taxa de alogamia de 2 a 10% (PINHO; FIORINI; SANTOS, 2014). Segundo Dogget (1988), o sorgo cultivado foi melhorado a partir da planta espontânea *Sorghum arundinaceum*.

O sorgo sacarino é caracterizado pelo alto porte, podendo atingir mais do que três metros de altura, com o diâmetro do caule maior do que 5 cm, baixa produção de sementes e caule rico em açúcares, podendo variar de 11-18 °Brix (CIDRAES, 1966; DUTRA et al., 2013; REGASSA; WORTMANN, 2014). O sorgo é uma planta C4, ou seja, possui alta taxa fotossintética (30 a 100 mg CO₂ cm⁻² h⁻¹) e grande produtividade de biomassa (36-140 t ha⁻¹). A temperatura ótima para seu desenvolvimento está entre 16 e 32°C (REGASSA; WORTMANN, 2014; MAGALHÃES; DURÃES, 2003).

O sistema radicular do sorgo é formado por raízes primárias ou seminais (pouco ramificada), secundárias e adventícias que são compostas por elevado número de raízes com grande quantidade de pelos absorventes. A profundidade de enraizamento pode chegar a 1,30 m, com 80% das raízes distribuídas nos primeiros 30 cm (PINHO; FIORINI; SANTOS, 2014). O acúmulo de sílica na endoderme e o grande volume de pelos absorventes conferem a esta planta maior tolerância ao estresse hídrico (DOGGET, 1988; PINHO; FIORINI; SANTOS, 2014). De acordo com Magalhães e Durães (2003), o sorgo possui dois mecanismos de resistência a seca: a) escape - sistema radicular profundo e ramificado; b). tolerância - planta reduz o metabolismo e murcha, com alto poder de recuperação. Além disso, nas folhas há depósito de cera que confere a planta menor perda de água, ou seja, resistência ao estresse hídrico.

As folhas do sorgo são formadas por limbo, bainha e lígula. Seu número pode variar de 7 a 24 folhas, podendo atingir 1,30 m de comprimento e 0,15 m de largura quando maduras (DOGGET, 1988; PINHO; FIORINI; SANTOS, 2014). As folhas continuam seu crescimento mesmo após o florescimento. Sendo assim, a folha compete com a panícula por recursos como água e nutrientes. Por este motivo, é recomendado a aplicação de etileno com o objetivo de acelerar a maturação e acúmulo de sacarose no colmo nas plantas de sorgo sacarino. O etileno

proporcionará maior crescimento vegetativo (CASTRO; KLUGE; SESTARI, 2008), de forma que a inflorescência do sorgo receberia menor acúmulo de açúcar.

O colmo do sorgo sacarino acumula altas quantidade de açúcar fermentáveis. O suco extraído dos colmos possui de 7,5 a 15,5% de sacarose (CALVIÑO; MESSING, 2012; REGASSA; WORTMANN, 2014). Apesar de o colmo ser a parte da planta requisitada, toda a planta poderia ser utilizada para produção de etanol (YU et al., 2012). De acordo com Gupta e Verma (2015) e Kime; Dale (2004), grãos não comercializáveis de sorgo granífero e os grãos do sorgo sacarino, assim como o resíduo (palhada do sorgo), possuem potencial para produção de etanol.

O ciclo do sorgo pode ser dividido em basicamente três etapas: etapa de crescimento 1 (EC1), etapa de crescimento 2 (EC2), etapa de crescimento 3 (EC3). A EC1 caracteriza-se pela germinação, aparecimento da plântula, crescimento das folhas e estabelecimento do sistema radicular fasciculado, que ocorre da germinação até aos 30 dias após plantio. Nesta fase, a competição por luz, água e nutrientes com plantas daninhas e o ataque de pragas e doenças acarreta perdas de produtividade. A EC2 inicia-se quando o meristema apical se diferencia em um meristema floral e vai até a antese, com durabilidade de 30 a 60 dias após emergência. Nesta etapa, qualquer estresse biótico e abiótico afeta a planta, reduzindo o tamanho, a área foliar e o número de sementes por panícula. Nesta fase há absorção de mais de 50% dos nutrientes NPK extraídos pela planta. A EC3 caracteriza-se pelo processo de polinização e fertilização, com início a partir dos 61 dias após a germinação (PINHO; FIORINI; SANTOS, 2014).

O florescimento inicia-se na EC2 e se estende até a EC3 onde ocorre a polinização, fertilização, desenvolvimento e maturação dos grãos (MAGALHÃES et al., 2014). A diferenciação floral pode ser afetada pela temperatura e pelo fotoperíodo. O sorgo é uma planta de dias curtos e noites longas e, por isso, nas cultivares sensíveis a gema vegetativa (terminal) permanece vegetativa até que os dias encurtem o bastante para haver a sua diferenciação em gema floral (MAGALHÃES; DURÃES, 2003).

2.2.2. Aspectos agronômicos do sorgo sacarino

O conhecimento dos aspectos agronômicos da cultura do sorgo é importante para obter o melhor desenvolvimento da cultura, alcançando altas produtividades de biomassa e elevada produção de caldo por hectare (MAY, 2011).

As cultivares devem ser escolhidas adequadamente quanto a sua finalidade (produção de etanol, grãos, silagem), zoneamento climático, resistência a pragas e doenças e idoneidade das sementes. As cultivares de sorgo sacarino mais encontradas na literatura são: BRS 501, 505, 506, 508, 507, 509, 511, além dos híbridos 601 e 602, pertencentes a Embrapa Milho e Sorgo; CV 198 e CV 568, pertencentes a Canavialis; Sugargraze, V82391, V82392 e V82393, pertencentes a empresa Advanta (FERNANDES et al., 2014; MAY et al., 2012; FILHO et al., 2013; SANTOS, 2011; ECULICA, 2014). Contudo, muitas destas cultivares são materiais genéticos pertencentes as empresas públicas ou privadas, ou seja, não são comercializadas. Entretanto, a Embrapa mantém no mercado duas cultivares de sorgo sacarino (BRS 601 e 602) que em teste de laboratórios, produziram quatro mil litros de etanol por hectare (SANTOS, 2011),

Em Sete Lagoas-MG, Fernandes et al. (2014) estudaram quatro cultivares de sorgo sacarino com ciclo de 70 dias, e verificaram que a BRS 508, a BRS 509 e a BRS 511 obtiveram maior potencial de uso industrial na produção de etanol, sendo a última com maior teor de açúcar comparada às demais. A adaptabilidade e a estabilidade de 16 cultivares de sorgo sacarino (Sugargraze, CV 198, CV 568; V82391, V82392, V82393; BRS 506, BRS 508, BRS 509, BRS 511; CMSXS629, CMSXS630, CMSXS643, CMSXS644, CMSXS646, CMSXS647) em diferentes regiões (Mina gerais, São Paulo, Matro Grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal) foram avaliadas por ECULICA (2014), que constatou que a cultivar BRS 511 foi recomendada para as regiões por apresentar comportamento responsivo as variações dos ambientes nas características massa fresca por hectare, °Brix e teor dos sólidos solúveis.

A exigência nutricional e a adubação são fatores determinantes do potencial produtivo do sorgo. Apesar de o sorgo ser conhecido como uma cultura rústica e tolerante ao estresse hídrico e a solos degradados, há relatos de respostas positivas (aumento de produtividade) a adubação (COELHO, 2011).

De acordo com Rosolem & Malavolta (1981), sorgo sacarino acumula

nutrientes na seguinte ordem decrescente: $K > N > Ca > Mg > P > S > Fe > Mn > Cu > Zn$. Outro estudo demonstrou que o sorgo sacarino pode apresentar acúmulo total (planta inteira) de 335 kg ha^{-1} de K, 316 kg ha^{-1} de N, 72 kg ha^{-1} de Ca, 51 kg ha^{-1} de Mg, 36 kg ha^{-1} de P e 27 kg ha^{-1} de S para a produção de 38 t ha^{-1} de massa seca. O acúmulo de nutrientes somente pelos colmos foi: 216 kg ha^{-1} de K; 90 kg ha^{-1} de N; 42 kg ha^{-1} de Ca; 26 kg ha^{-1} de Mg; 8 kg ha^{-1} de P, 12 kg ha^{-1} de S (SOARES et al., 2014).

De acordo com Bolonhezi; Freitas; Sawazaki (2014) na adubação de semeadura é recomendado aplicar de 20 a 40 kg ha^{-1} de N, sendo que as quantidades de K e de P variam de acordo com a análise de solo e com a meta de produtividade. Em geral, para uma produtividade de 50 t ha^{-1} de colmos de sorgo com teores baixo, médio e alto de P e de K no solo, recomendam-se 100, 80 e 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 200, 160 e 120 kg ha^{-1} de K_2O . O N pode ser parcelado de acordo com a produtividade esperada e com o nível de resposta a adubação nitrogenada do solo.

Há poucas informações na literatura sobre manejo de adubação mais específica para o sorgo sacarino. Não é recomendado utilizar a recomendação de adubação do sorgo granífero para o sorgo sacarino. Para a produção de bioetanol, toda a planta de sorgo sacarino é removida, enquanto somente os grãos são colhidos na área de cultivo de sorgo granífero. Sendo assim, a exportação de nutrientes no sorgo sacarino é maior do que a do sorgo granífero (COELHO, 2011).

Segundo Erickson; Woodard; Sollenberger (2012), que estudaram diferentes doses de adubação nitrogenada ($45, 90, 135$ e 180 kg ha^{-1} de N) no sorgo sacarino em duas áreas da Florida com solo arenosos, a dose 90 a 110 kg ha^{-1} de N foi considerada a melhor com base na produtividade (77 t ha^{-1} de massa verde) e recuperação do N. ALMODARES et al. (2008) testaram o efeito de doses de N (0, 90 e 180 kg ha^{-1} de ureia) e de K_2O (0 e 50 kg ha^{-1} sulfato de potássio) em duas variedades de sorgo sacarino (Rio e Keller) no Irã, e observaram que a aplicação de 180 kg ha^{-1} de ureia e de 50 kg ha^{-1} de sulfato de potássio, concomitantemente, resultou em maior biomassa fresca (130 t ha^{-1}), alturas de colmos (2,7 m). De acordo com Formiga et al. (2012), que estudaram a aplicação de adubo químico e adubação orgânica em sorgo sacarino (ureia + esterco bovino, esterco bovino, NPK + esterco bovino, NPK e controle) sob solo areia franca em clima mesotérmico em Pernambuco -BR, verificaram que as maiores altura (2,9 m) e massa seca de colmo (16 g colmo^{-1}) foram obtidas com a aplicação NPK + esterco bovino.

Outros fatores determinantes para a produtividade do sorgo são a época e a densidade de plantio. A época de plantio recomendada é de outubro a dezembro, pois o plantio tardio acarreta florescimento precoce devido ao fotoperíodo. O espaçamento pode ser ajustado de acordo com a bitola das colhedoras de cana-de-açúcar ou com o espaçamento de 0,50 m, no caso de ser utilizada uma colhedora de forragem (BOLONHEZI; FREITAS; SAWAZAKI, 2014). Emygdio; Chielle (2013) avaliaram as densidades 120.000, 140.000 e 160.000 plantas ha⁻¹ de sorgo sacarino em dois espaçamentos entre linhas (0,5 e 0,7 m) e reportaram o melhor desenvolvimento da cultura instalada com entrelinhas de 0,5 m.

2.3. Adubação nitrogenada

O nitrogênio (N) é o quinto elemento mais abundante no planeta, sendo essencial para síntese de ácidos nucleicos e proteínas. A maior parte do N encontra-se na forma de N₂ atmosférico, que precisa ser convertido em formas assimiláveis (NH₄⁺ e NO₃⁻) por processos de fixação biológica ou industrial para utilização pelas plantas. Por ser um dos nutrientes mais requeridos pelos vegetais e pela adubação nitrogenada ser de baixa eficiência, o N é um fator limitante a produtividade das culturas agrícolas (CANFIELD; GLAZER; FALKOWSKI, 2010), incluindo o sorgo sacarino.

O N é um nutriente sujeito a várias rotas de perda no ambiente agrícola, que contribuem para a diminuição da eficiência das adubações com N e para impactos negativos sobre o ambiente. O parcelamento do adubo nitrogenado ao longo do cultivo é recomendado para evitar a queima das plântulas (quando a quantidade de N necessária é muito alta e quando a fonte de N possui índice salino importante) e as perdas de N, principalmente por lixiviação. As perdas por formas gasosas ocorrem por volatilização e por desnitrificação. TRIVELIN et al. (2002) avaliaram o potencial de perda de N a partir da ureia aplicada na cana-de-açúcar. Houve perda de 12% do N da ureia incorporada ao solo no ciclo de cana-planta, principalmente via desnitrificação, e de 50% do N da ureia aplicada no cultivo de cana-soca e sem incorporação, principalmente via volatilização. No solo, o N-amídico da ureia é transformado em amônio (NH₄⁺), por um processo de hidrólise mediado pela enzima urease. Durante esta transformação, o N pode ser perdido por volatilização na forma de amônia gasosa (NH₃) (Figura 1), principalmente quando o

adubo é aplicado superficialmente (STIPP; PROCHNOW, 2008).

Após a aplicação ao solo, a ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] é hidrolisada pela enzima urease, resultando na formação de carbonato de amônio [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$], que se decompõe rapidamente, originando amônio, bicarbonato e hidroxila [$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- + \text{HCO}_3^-$]. Além disso, a reação de hidrólise consome prótons (H^+). Estes dois fenômenos elevam o pH ao redor dos grânulos do fertilizante (6,5 a 8,8 em três dias) e aumentam a formação da amônia (NH_3), que rapidamente é perdida para a atmosfera se o grânulo de ureia estiver na superfície do solo. A difusão da ureia para o interior do solo (enterrio, irrigação, chuvas) reduz muito as perdas por volatilização porque a amônia reagirá com íons H^+ presentes nos solos tipicamente ácidos, formando o amônio (NH_4^+) que será nitrificado ou adsorvido pela CTC (Cantarella, 2007).

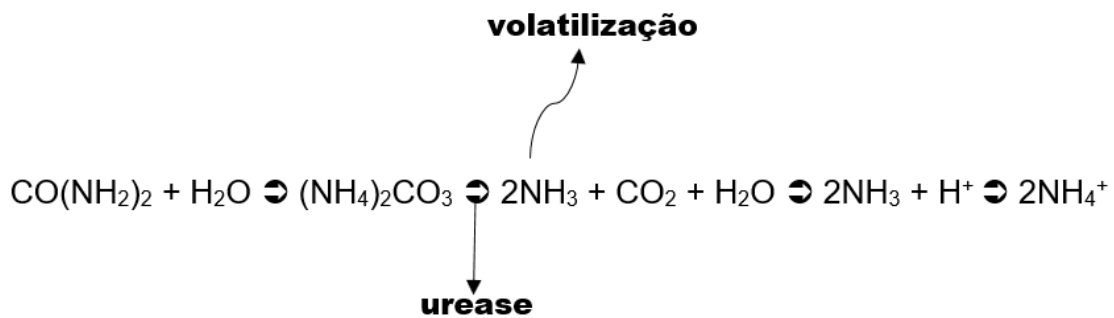


Figura 1. Reação de hidrólise da ureia no solo: ação da urease, formação da amônia (NH_3) e conversão em amônio (NH_4).

O N é requerido em quantidades diferentes que dependem das fases do ciclo fenológico das culturas. No caso do sorgo sacarino, estudos demonstraram que há um aumento na absorção de N aos 45 dias após a semeadura (podendo variar com a cultivar), que corresponde ao aumento do acúmulo de massa seca. A informação é importante para a recomendação da adubação nitrogenada, em que parte do N deve ser ofertado na ocasião da semeadura e o restante após 20 dias (FORMIGA et al., 2012; SOARES et al., 2014).

A volatilização de N proveniente da ureia é a principal fator que diminui a eficiência de utilização do N pelas plantas, principalmente quando aplicada em superfície (Figura 2), como no caso de práticas de parcelamento do adubo nitrogenado (SANGOI et al., 2003; TASCIA et al., 2011).



Figura 2. Aplicação de ureia na superfície do solo, prática que deve ser evitada.

Fonte: Villalba et al. (2014).

Um das práticas recomendadas para redução das perdas de N-ureia é a incorporação do adubo (SANGOI et al., 2003; TRIVELIN et al., 2002). Entretanto, esta prática é de difícil aplicação quando se trata do parcelamento do adubo nitrogenado e ou da aplicação sobre a palhada da cana-de-açúcar (STIPP; PROCHNOW, 2008). As mais recentes tecnologias incorporadas em fertilizantes que controlam ou retardam a hidrólise da ureia originaram as categorias de fertilizantes de liberação lenta, fertilizantes com solubilidade controlada e fertilizantes estabilizados (STIPP; PROCHNOW 2008) (Figura 3).

Os fertilizantes contendo ureia de liberação lenta são revestidos com formaldeído e isobutylidene-diureia (IBDU) crotonilidene diureia (CDU), que tem por característica baixa solubilidade em água. Com isso, o fornecimento de N para as culturas ocorre de forma gradual e em maior conformidade com a necessidade da planta, com menores perdas por volatilização devido aos grânulos estarem protegidos das condições ambientais. Os fertilizantes de liberação controlada são recobertos com fonte orgânicas de baixa solubilidade, esterco ou outros resíduos vegetais, fontes inorgânicas como enxofre e outros polímeros sintéticos de diferentes naturezas, que possuem solubilidade controlada e liberação mais previsível do N, que ocorre de forma gradual e dependente de condições ambientais, principalmente

temperatura e/ou umidade (STIPP; PROCHNOW 2008; ALMEIRA, 2016). Nos fertilizantes revestidos com polímeros a liberação dos nutrientes ocorrem por difusão através dos grânulos. Inicialmente, a água entra no grânulo através do revestimento, principalmente, na forma de vapor que se condensa dentro do grânulo e dissolve parte dos fertilizantes, desta forma promovendo aumento da pressão dentro do revestimento. Neste momento, o revestimento pode romper ou o nutriente é liberado por difusão (GUELF, 2017) (Figura 4). De acordo com Silva et al. (2015), a utilização de ureia de liberação lenta ou controlada reduz a volatilização de NH_3 em até 64% quando comparado com a ureia convencional.



Figura 3. Classificação dos fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada. Abreviações: NA = nitrato de amônio, SA = sulfato de amônio, UF = ureia formaldeído, IBDU = isobultiraldeído diureia, CDU = ciclo diureia, NBPT = N-(n-butiril) tiofosfórico triamida, DMPP = 3,4 dimetilpirazol fosfato, SCU = ureia revestida com enxofre elementar (S°), PSCU = ureia revestida com enxofre elementar (S°), URP = ureia revestida com polímeros.

Fonte: Guelfi (2017).

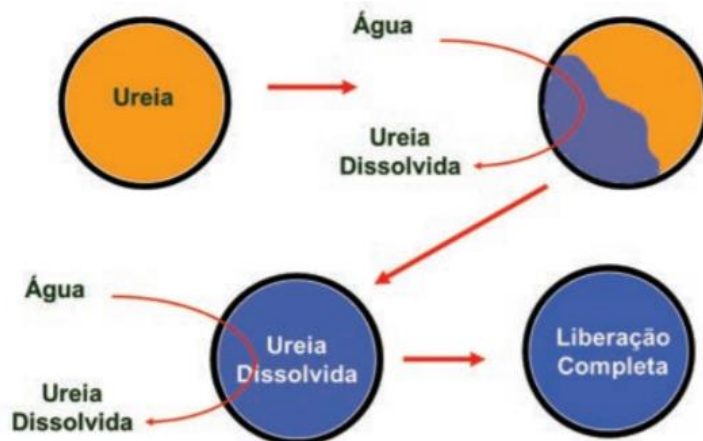


Figura 4. Esquema da liberação do fertilizante revestido por polímeros.

Fonte: Guelfi (2017).

Os fertilizantes estabilizados são adubos nitrogenados no qual foi adicionado um estabilizador de N (inibidores de urease e/ou inibidores de nitrificação), que prolonga o tempo que o componente de N do fertilizante permaneça no solo na forma de N-ureia (N-amídico) ou de N-amoniacal (TRENKEL, 2010) (Figura 5). Os inibidores de nitrificação promovem o atraso na oxidação biológica do amônio (NH_4^+) a nitrato (NO_3^-), diminuindo a atividade das bactérias nitrosomonas, responsáveis pela primeira etapa da reação de nitrificação que causa a conversão de amônio a nitrito. (ABALOS et al., 2014; GUELF, 2017). Os inibidores de urease tem a ação de retardar a taxa de hidrólise da ureia, reduzindo as perdas por volatilização de NH_3 (STIPP; PROCHNOW 2008; TRENKEL, 2010). Uma das substâncias inibidoras mais promissoras é o N-(n-butil) tiofosfórico triamida, o NBPT. A inibição da enzima urease acontece quando ocorre a conversão do NBPT em seu análogo NBPTO (que possui o oxigênio no lugar do enxofre) formando ligações químicas entre o inibidor de urease e o sitio ativo da enzima (GUELF, 2017) (Figura 6). CANTARELLA et al. (2008) verificaram que o uso da ureia-NBPT pode reduzir de 15 a 78% as perdas por volatilização. Os autores acrescentaram que o inibidor foi menos efetivo quando houve precipitações suficientes para incorporar a ureia no solo após a aplicação dos fertilizantes.

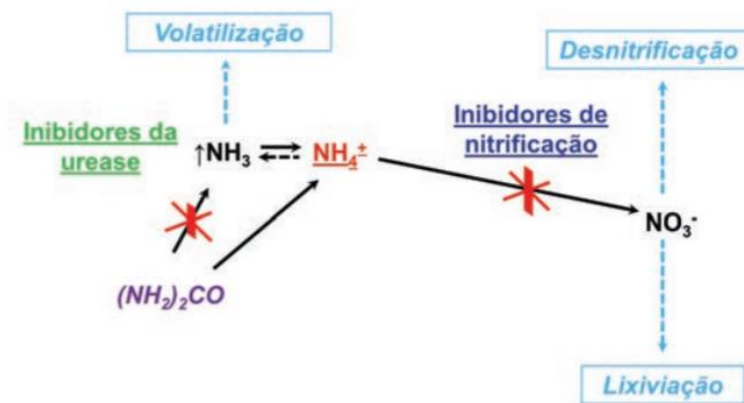


Figura 5. Modo de ação dos inibidores de urease e nitrificação utilizados como estabilizadores em adubos nitrogenados.

Fonte: Guelfi (2017).

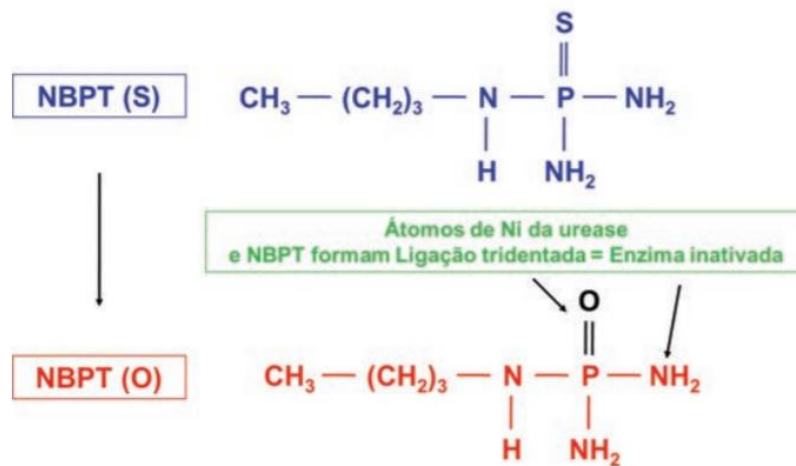


Figura 6. Modo de ação do N-(n-butil) tiosfosfórico triamida (NBPT) na inativação da enzima urease.

Fonte: Guelfi (2017).

3. OBJETIVOS

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agronômico de sorgo sacarino adubado com ureia comum e com ureia com inibidor de urease NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) para o fornecimento do N recomendado em dose total na semeadura ou em dose parcelada na semeadura e em cobertura.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos-UFSCar, localizado no Município de Araras-SP, com altitude de 690 metros, latitude 22°18'S e longitude 47°23'O, no período compreendido entre dezembro de 2017 a maio de 2018. O clima local é do tipo Cwa (Köppen, 1948), mesotérmico com verões quentes e úmidos e invernos secos. Informações sobre temperatura e pluviosidade no período experimental estão na Figura 7.

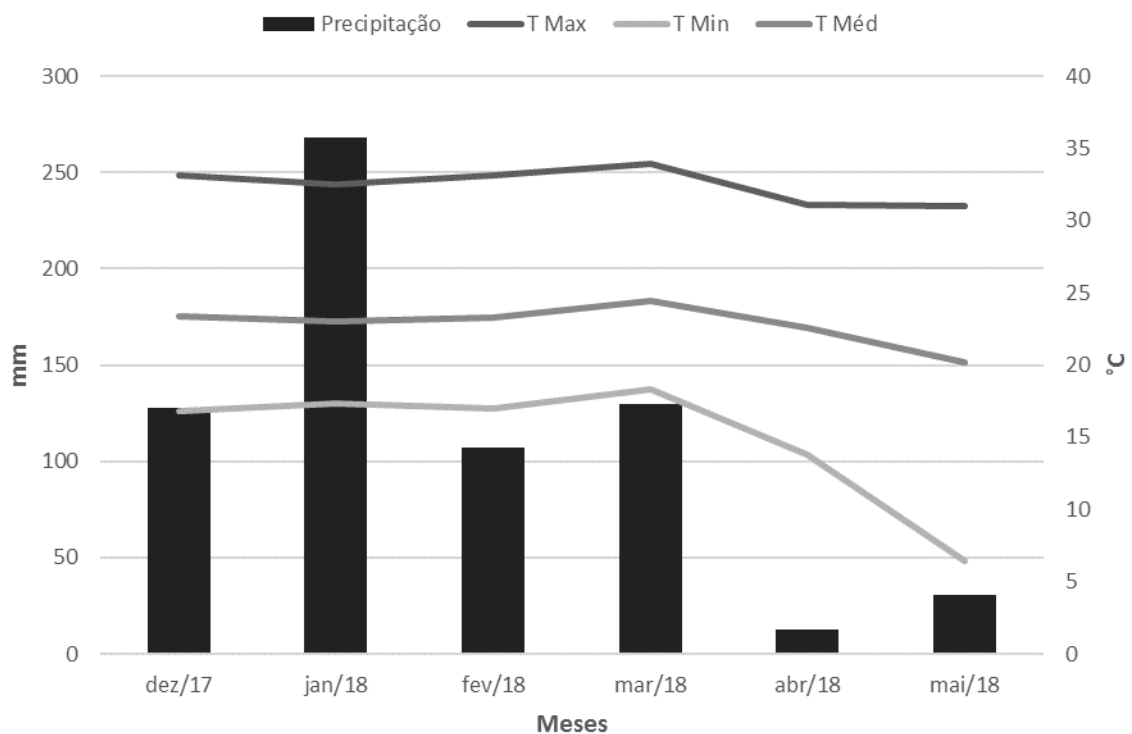


Figura 7. Temperatura máxima (T max), mínima (T min) e média (T med) e precipitação acumulada registrada durante o período de condução do experimento em campo.

Fonte: Estação Meteorológica Automática-EMA do Centro de Ciências Agrárias (CCA)-UFSCar.

O cultivo do sorgo sacarino ocorreu em Latossolo Vermelho distrófico A moderado (EMBRAPA, 2013), com as seguintes características físicas e químicas na camada de 0-20 cm: textura argilosa (areia - 150 g kg⁻¹; silte - 190 g kg⁻¹; argila - 660

g kg⁻¹); pH (CaCl₂): 5,4; matéria orgânica: 34 g dm⁻³; capacidade de troca de cátions total (CTC_t): 75,5 mmol_c dm⁻³; saturação por bases (V%): 68,9%; soma de bases (SB): 52 mmol_c dm⁻³; saturação por alumínio (m%): 1%; fósforo (P_{resina}): 33 mg dm⁻³; potássio (K): 3 mmol_c dm⁻³; cálcio (Ca): 34,5 mmol_c dm⁻³; magnésio (Mg): 14,5 mmol_c dm⁻³; acidez potencial (H+Al): 23,5 mmol_c dm⁻³; alumínio (Al): 0,5 mmol_c dm⁻³. enxofre (S): 12 mg dm⁻³; boro (B): 0,22 mg dm⁻³; cobre (Cu): 3,7 mg dm⁻³; ferro (Fe): 12 mg dm⁻³; manganês (Mn): 42,1 mg dm⁻³; zinco (Zn): 1,5 mg dm⁻³. A caracterização química para fins de fertilidade e a análise granulométrica foram feitas conforme métodos de Raij et al. (2001) e de EMBRAPA (1997), respectivamente.

O experimento foi disposto conforme delineamento com quatro blocos casualizados, constituindo seis tratamentos: T1 - testemunha (sem adubação); T2 - controle (sem adubação nitrogenada); T3 - ureia comum aplicada no plantio; T4 - ureia comum aplicada parcelada (plantio e cobertura); T5 - ureia com inibidor de urease-NBPT aplicada no plantio; T6 - ureia com inibidor de urease-NBPT aplicada parcelada (plantio e cobertura). A parcela experimental foi composta por 5 linhas com 5 metros de comprimento, espaçadas por 0,5 m entre linhas, sendo a área útil representada pelas três linhas centrais desconsiderando um metro das extremidades de cada linha.

O preparo da área experimental iniciou-se aos dez dias antes do plantio, realizando-se uma gradagem, seguida de escarificação e da demarcação dos sulcos de plantio. Não foi necessária aplicação de calcário, pois a saturação por bases do solo foi próxima ao recomendado para a cultura (V% = 70%) (BOLONHEZI, FREITAS, SAWAZAKI, 2014). A semeadura do sorgo sacarino foi realizada manualmente, distribuindo oito sementes por metro linear de sulco (80% de germinação) para alcançar população de 110.000 plantas ha⁻¹ (Figura 8). Foi utilizado o híbrido simples AGRI-001E de sorgo sacarino, da empresa Agricomseeds.



Figura 8. Semeadura manual do sorgo sacarino no sulco.

A recomendação de adubação foi elaborada conforme BOLONHEZI, FREITAS, SAWAZAKI (2014). As adubações fosfatada e potássica foram baseadas na análise de solo e na meta de produtividade de colmos de 50 t ha^{-1} , correspondendo a 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 160 kg ha^{-1} de K_2O . A dose de K_2O foi parcelada, com aplicação de 50 kg ha^{-1} na sementeira e 110 kg ha^{-1} em cobertura (32 dias após a emergência - DAE). A adubação nitrogenada foi baseada na meta de produtividade e na classe de resposta do solo a adubação nitrogenada (alta), correspondendo ao total 140 kg ha^{-1} de N. Para compor os tratamentos, a adubação nitrogenada foi feita com aplicação da dose total de N no plantio (T3 e T5) e da dose parcelada de N no plantio e em cobertura (T4 e T6). Nos tratamentos com parcelamento da adubação nitrogenada foram aplicados 20 kg ha^{-1} de N no plantio e 120 kg ha^{-1} de N em cobertura, superficialmente aos 32 DAE.

O controle de plantas infestantes foi realizado aos 25 DAE e aos 58 DAE, utilizando o herbicida Atrazine (Atrazina Nortox 500 SC), com a dose recomendada pelo fabricante de $3,35 \text{ kg ha}^{-1}$ do ingrediente ativo (Atrazine), e o Glifosato (Glifosato Nortox SL) na dose 4 L ha^{-1} aplicados com pulverizador costal equipado com “chapéu de napoleão” para o controle nas entrelinhas, respectivamente. Realizou-se o controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) aos 38 DAE, aplicando o inseticida chamado comercialmente de Lorsban® 480 BR na dose recomendada de $0,75 \text{ L ha}^{-1}$ do ingrediente ativo (clorpirifós).

O florescimento do sorgo sacarino teve início aos 120 DAE. Quando 50% das plantas de sorgo apresentaram panículas, amostrou-se três folhas diagnóstica (a quarta folha com bainha visível a partir do ápice) (CANTARELLA; RAIJ; CAMARGO, 1997) (Figura 9). As amostras foram levadas ao laboratório para secagem em estufa

com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas, com posterior moagem em moinho tipo Wiley. Foram realizadas as análises para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S no tecido vegetal, segundo metodologia descrita em Malavolta et al. (1997).



Figura 9. Amostragem da folha diagnóstico do sorgo sacarino.

A colheita foi realizada quando o sorgo sacarino atingiu um teor de sólidos solúveis de 15 °Brix (144 DAE), aferido com um refratômetro manual (SILVA et al., 2012). Aleatoriamente, amostraram-se 15 plantas por parcela útil para as seguintes avaliações:

- a) Altura das plantas (m): mediu-se a altura das plantas com auxílio de uma fita métrica, partindo do entrenó basal do colmo até o ápice da panícula;
- b) Diâmetro do colmo (mm): mediu-se o diâmetro no terço médio do colmo com auxílio de um paquímetro;
- c) Número de entrenós (n° planta⁻¹): contabilizou-se o número de entrenós por planta amostrada;
- d) Produção de colmos (PC, t ha⁻¹): calculou-se a massa de colmos contida em um metro linear de cada uma das três linhas da área útil da parcela, despalhadas e sem panículas;
- e) Massa verde (MV, t ha⁻¹): calculou-se a massa de colmos das plantas contidas em um metro linear de cada uma das três linhas da área útil da parcela, com folhas e panículas;
- f) Massa Seca (MS, t ha⁻¹): selecionaram-se cinco plantas aleatórias de cada parcela. O material foi desintegrado na forrageira, retirando-se uma subamostra para

determinação da massa fresca. A subamostra foi levada ao laboratório e seca a 65°C em estufas com circulação forçada de ar até atingir massa constante para determinação da massa seca. O cálculo da produtividade da massa seca do sorgo sacarino foi realizado pela porcentagem umidade sob a MV do sorgo em cada parcela.

g) Massa da Panícula (MP, t ha⁻¹): calculou-se a massa das panículas contida em um metro linear de cada uma das três linhas da área útil da parcela;

h) Número de Perfilhos: foi contado o número de perfilhos dentro das 3 linhas principais descontando meio metro de cada lado.

Os resultados biométricos e de produtividade do sorgo sacarino foram submetidos à análise de variância (teste F; $p < 0,05$) e, quando significativos, foram desdobrados para comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de significância (R CORE TEAM, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise de variância

Os tratamentos com tipos de ureia e modos de aplicação não resultaram em diferenças significativas nos parâmetros biométricos e de produtividade (Tabela 2) e nos parâmetros nutricionais do sorgo sacarino (Tabela 3).

Tabela 2. Análise de variância de parâmetros biométricos de sorgo sacarino cultivado combinando diferentes tipos de ureia e formas de aplicação de adubação nitrogenada.

ANOVA – p-valor do teste F								
Fontes de variação	gl	PC	MV	AP	DC	NE	NP	MP
Bloco	3	0,05*	0,03*	0,24ns	0,27ns	0,02*	0,12ns	p<0,01**
Tratamentos	5	0,97ns	0,63ns	0,48ns	0,89ns	0,17ns	0,33ns	0,23ns
CV%		13,31%	12,92%	4,79%	7,56%	7,13%	12,49%	18,48%
¹ Teste de normalidade		0,29	0,97	0,79	0,08	0,50	0,43	0,99

gl: grau de liberdade; PC: produção de colmos; MV: biomassa verde; AP: altura de planta; DC: diâmetro de colmo; NE: número de entrenós; NP: número de perfilhos; MP: massa da panícula. ns: não significativo; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste F;

¹pressuposição de distribuição normal dos resultados atendida se p-valor>0,05.

Tabela 3. Análise de variância de teores foliares de macronutrientes de sorgo sacarino cultivado combinando diferentes tipos de ureia e formas de aplicação de adubação nitrogenada.

ANOVA – p-valor do teste F							
Fontes de variação	gl	N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3	0,03*	<0,01**	0,42ns	0,02*	0,62ns	<0,01**
Tratamentos	5	0,56ns	0,66ns	0,84ns	0,43ns	0,46ns	0,25ns
CV%		3,91%	12,78%	21,56%	8,07%	10,28%	29,43%
¹ Teste de normalidade		0,36	0,80	0,46	0,74	0,42	0,41

gl: grau de liberdade;

ns: não significativo; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste F;

¹pressuposição de distribuição normal dos resultados atendida se p-valor>0,05.

Os resultados de produção de colmos (PC), biomassa verde (BV), número de entrenós (NE) e de massa da panícula (MP) apresentaram influência de blocos, indicando que as condições locais não foram homogêneas. Os coeficientes

de variação foram satisfatórios para um experimento conduzido em condições de campo.

5.2. Parâmetros biométricos e de produtividade

Os tipos de ureia e o modo de aplicação da adubação nitrogenada não provocaram alterações nos indicadores biométricos e de produtividade do sorgo sacarino (Tabela 4). A ausência de resposta aos tratamentos pode estar relacionada ao fato de que o N não foi um fator limitante. O solo da área experimental apresentou fertilidade atual pouco restritiva na ocasião da implantação do experimento, podendo ser classificada como ambiente de baixa resposta a N.

Tabela 4. Parâmetros biométricos e de produtividade do híbrido simples AGRI-001E de sorgo sacarino, cultivado combinando diferentes tipos de ureia e formas de aplicação de adubação nitrogenada.

Tratamentos	Produção colmos	Massa verde	Massa seca	Massa da panícula	Altura	Diâmetro	Nº colmos	Perfilhos
	----- t ha ⁻¹ -----			g planta ⁻¹	m	cm	nº planta ⁻¹	nº m ⁻¹
Testemunha	86,89 a	110,60 a	36,20 a	49,88 a	4,82 a	1,47 a	14,35 a	7,67 a
Controle (sem N)	83,65 a	105,48 a	33,85 a	49,87 a	4,64 a	1,48 a	14,95 a	8,77 a
Ureia P	85,27 a	110,95 a	35,51 a	53,25 a	4,60 a	1,51 a	14,85 a	7,48 a
Ureia P+C	83,97 a	107,34 a	32,98 a	47,13 a	4,70 a	1,53 a	13,30 a	7,77 a
Urease P	84,15 a	101,64 a	32,95 a	46,00 a	4,87 a	1,46 a	14,05 a	8,40 a
Urease P+C	89,89 a	119,01 a	39,22 a	62,38 a	4,83 a	1,53 a	15,15 a	7,38 a
DMS	26,20	32,41	11,36	21,83	0,52	0,26	2,37	2,27

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

P: plantio; C: cobertura.

A produção de colmos, parâmetro importante na escolha da cultivar com o objetivo de produção de etanol (WU et al., 2010), foi de 85,7 t ha⁻¹ (Tabela 4), em média. A produtividade esteve bem acima do mínimo aceito pelas indústrias sucroenergéticas para uma cultivar de sorgo sacarino (50 t ha⁻¹ de biomassa sem panículas) (BOLONHEZI, FREITAS, SAWAZAKI, 2014). BOTELHO et al. (2010) e MAY et al. (2012) relataram produções menores de 29 e 50 t ha⁻¹, respectivamente.

Scavazza (2016), avaliando a resposta do híbrido de sorgo sacarino NS 105 (Nexsteppe Inc.) a doses de N (0, 55, 110 e 165 kg ha⁻¹ de N), cultivado na mesma área experimental, obteve produções de colmo que variaram de 58,6 a 72,1 t ha⁻¹ e não encontrou diferenças significativas nos parâmetros biométricos e de produtividade.

Havia expectativa de resultados diferenciados com o uso da ureia com o inibidor da urease. Ausência de respostas na produtividade de trigo, arroz e milho com este tipo de ureia foram reportadas por Halvorson; Del Grosso; Alluvione (2010) e por Feng et al. (2016). Entretanto, Kaneko et al. (2013) observaram que o uso da ureia com NBPT resultou no aumento da altura e da produtividade do algodão de caroço cultivado em Latossolo Vermelho distrófico no Mato Grosso, comparando com a ureia convencional. Aumentos de 5% na produtividade de azevém, milho, trevo, arroz, algodão, trigo, cana-de-açúcar e cevada com o uso da ureia com inibidor de uréase foram observados por SILVA et al. (2017), que ressaltaram que a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos com ureia com e sem NBPT se devem ao fato de o N não ser o fator mais limitante para o rendimento de determinadas culturas. Os fatores associados a produtividade não estão relacionados apenas com potencial genético da cultivares, mas também com as condições climáticas, fertilidade do solo e práticas agrícolas.

O híbrido AGRI-001E de sorgo sacarino apresentou, em média, 4,7 m de altura e diâmetro de colmo de 1,5 cm (Tabela 4), sendo de maior estatura do que algumas variedades de sorgo sacarino relatadas na literatura, que apresentaram de 2,3 a 3,9 m de altura (CARAFFA et al., 2016; FILHO et al., 2013; FORMIGA et al., 2012; MAY et al., 2012). De acordo com Regassa; Wortmann (2014), há cultivares de sorgo sacarino que podem atingir mais de 4,8 m de altura, com diâmetro de 4,5 cm.

As produções de massa fresca e de massa seca do sorgo sacarino foram de 109,2 e 35,1 t ha⁻¹, em média, respectivamente (Tabela 4). Os resultados foram superiores aos encontrados na literatura, que variaram de 20 a 95 t ha⁻¹ e de 16 a 30 t ha⁻¹, respectivamente (BOTELHO et al., 2010; DUTRA et al., 2013; ERICKSON; WOODARD; SOLLENBERGER, 2012; FILHO et al., 2013; GUPTA; VERMA, 2015; TURGUT et al., 2005; SCAVAZZA, 2016). Caraffa et al. (2017) cultivaram o mesmo híbrido de sorgo sacarino (AGRI-001E) em Treze de Maio-SC (precipitação média 1.318 mm), semeado em novembro em Latossolo Vermelho

distrófico e adubado com 400 kg ha⁻¹ de 12-30-20 de NPK. Os autores observaram produção de massa seca de 17,9 t ha⁻¹, valor abaixo da média das 21 cultivares testadas (19,4 t ha⁻¹).

5.3. Teores foliares de macronutrientes

O tipo de ureia e o modo de aplicação da adubação nitrogenada não alteraram os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnóstica do sorgo sacarino (Tabela 5).

Tabela 5. Teores foliares de macronutrientes em folha diagnóstica do híbrido simples AGRI-001E de sorgo sacarino, cultivado combinando diferentes tipos de ureia e formas de aplicação de adubação nitrogenada.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
Testemunha	24,88 a	2,59 a	8,77 a	4,60 a	3,55 a	1,12 a
Controle (sem N)	24,50 a	2,60 a	8,07 a	4,73 a	3,84 a	0,83 a
Ureia P	24,75 a	2,45 a	8,92 a	4,65 a	4,10 a	0,99 a
Ureia P+C	25,75 a	2,31 a	8,17 a	4,45 a	3,71 a	0,72 a
Urease P	25,13 a	2,45 a	8,37 a	4,20 a	3,73 a	0,72 a
Urease P+C	24,75 a	2,32 a	9,67 a	4,46 a	3,64 a	0,86 a
DMS	2,24	0,72	4,29	0,84	0,89	0,59

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Contin (2007) também não encontrou associação entre fontes de N (ureia, ureia com NBPT e sulfato de amônio) e os teores foliares de N, P, K, Ca e Mg em cana-de-açúcar, mas existem relatos de aumento no teor de N nas folhas e nos grãos de milho (FRAZÃO et al., 2014) e de arroz (SILVA et al., 2011) com o uso da ureia tratada com NBPT.

O inibidor de urease tende a auxiliar no aumento do teor de N das culturas devido a redução da perda de N por volatilização e a redução da velocidade da hidrólise, aumentando as chances de a chuva incorporar o N-amídico no solo (TRIVELIN et al., 2002; STIPP; PROCHNOW, 2008; SILVA et al., 2011; TASCA et al., 2011; FRAZÃO et al., 2014; GUELFÍ, 2017). A diagnose foliar pode se tornar pouco sensível aos tratamentos com diferentes fontes e formas de

aplicação de N quando a cultura absorve grandes quantidades de N provenientes do solo (CONTIN, 2007), hipótese admitida neste trabalho. A dose de N utilizada no experimento (140 kg ha^{-1} de N) foi calculada para a produtividade esperada de 50 t ha^{-1} de sorgo sacarino (BOLONHEZI, FREITAS, SAWAZAKI, 2014). Porém, a maior produtividade observada foi de 90 t ha^{-1} (Tabela 4), ou seja, 180% da produtividade esperada. Provavelmente, o sorgo absorveu grandes quantidades de N proveniente do solo, comprometendo o efeito das fontes e da forma de aplicação no teor de N foliar.

Os teores foliares dos macronutrientes encontrados na folha diagnóstica do sorgo sacarino (Tabela 5) foram comparados com os valores considerados adequados por diferentes autores (Tabela 6) (ROSOLEM & MALAVOLTA, 1982; CANTARELLA et al., 1997; MARTINEZ et al., 1999; OLIVEIRA, 2004).

Tabela 6. Faixas de teores foliares adequados de macronutrientes para a cultura do sorgo.

Macronutrientes	Teor (g kg^{-1})			
	Ref.1	Ref.2	Ref.3	Ref.4
Nitrogênio	32,0	25,0-35,0	23,0-29,0	25,0-35,0
Fósforo	8,0-9,5	2,0-4,0	4,4	2,0-4,0
Potássio	26,0-30,0	14,0-25,0	13,0-30,0	14,0-25,0
Cálcio	4,5-6,5	2,5-6,0	2,1-8,6	2,5-6,0
Magnésio	4,5-5,2	1,5-5,0	2,6-3,8	1,5-5,0
Enxofre	-	1,5-3,0	1,6-6,0	1,5-3,0

¹Rosolem & Malavolta (1982): valores obtidos para sorgo sacarino cultivado em casa de vegetação com solução nutritiva;

²Cantarella et al. (1997): valores indistintos para sorgo granífero, forrageiro e vassoura; condições do Estado de São Paulo

³Martinez et al. (1999): sem indicação do tipo de sorgo; condições do Estado de Minas Gerais

⁴Oliveira (2004): sem indicação do tipo de sorgo; condições do Cerrado

Os teores foliares de N estiveram próximos do limite inferior (25 g kg^{-1}) da faixa considerada adequada pela maioria dos autores. Os teores foliares de P ($2,3\text{-}2,6 \text{ g kg}^{-1}$), de Ca ($4,2\text{-}4,7 \text{ g kg}^{-1}$) e de Mg ($3,5\text{-}4,1 \text{ g kg}^{-1}$) foram considerados adequados. Somente os teores foliares de K ($8,1\text{-}9,7 \text{ g kg}^{-1}$) e de S ($0,7\text{-}1,1 \text{ g kg}^{-1}$) estiveram abaixo do mínimo considerado adequado. Entretanto, não foi diagnosticado nenhuma deficiência nutricional visual de K e de S nas plantas durante todo o ciclo do sorgo sacarino.

6. CONCLUSÕES

O uso da ureia comum ou da ureia com inibidor de urease NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida), no fornecimento do N recomendado em dose total na semeadura ou em dose parcelada na semeadura e em cobertura, não alterou os parâmetros biométricos e de produtividade e os teores foliares de macronutrientes do sorgo sacarino. Os teores foliares de N, P, Ca e Mg foram considerados adequados. Houve deficiência nutricional de K e de S detectada pela diagnose por análise química do tecido vegetal, sem manifestação de sintomas visíveis.

O híbrido AGRI-001E de sorgo sacarino foi considerado apto para cultivo no zoneamento climático em que o experimento foi conduzido. A altura média das plantas foi de 4,7 m e a produção média de colmos ($85,7 \text{ t ha}^{-1}$) esteve acima das 50 t ha^{-1} mínimas requeridas pelas indústrias sucroenergéticas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABALOS, D. et al. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 189, p. 136–144, 2014.

ALMODARES, A. et al. The effect of nitrogen and potassium fertilizers on growth parameters and carbohydrate contents of sweet sorghum cultivars. *Journal of Environmental Biology*, v. 26, n. 6, p. 849-852, 2008.

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

BOTELHO, P. R. F. et al. AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO EM PRIMEIRO CORTE E REBROTAPARAPRODUÇÃO DE SILAGEM. *Revista*, v. 9, n. 3, p. 236–253, 2010.

BP Statistical Review of World Energy. Renewable energy. 2017. Disponível em: < <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>>. Acesso em: 20 de março de 2018.

CALVIÑO, M.; MESSING, J. Sweet sorghum as a model system for bioenergy crops. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 23, n. 3, p. 323–329, 2012.

Campanha Nacional de Abastecimento. Brasília: CONAB, 2017 - Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. ISSN 2318-7921.

CANFIELD, D. E.; GLAZER, A. N.; FALKOWSKI, P. G. The evolution and future of earth's nitrogen cycle. *Science*, v. 330, n. 6001, p. 192–196, 2010.

CANTARELLA, H. C.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van. et al. *Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 1997. p. 45 - 49.

CANTARELLA, H. et al. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia Agricola*, v. 65, n. 4, p. 397–401, 2008.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). *Fertilidade do Solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

CARAFFA, M. et al. Desempenho produtivo de genótipos de sorgo silageiro-sacarino na região sul-rio-grandense. XXXI Congresso nacional de milho e sorgo. Anais...Bento Gonçalves: 2016

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; SESTARI, I. Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008. 864 p.

CIDRAES, A. G. A cultura do sorgo. 1996. (series divulgação n° 35). Disponível em:< http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/a_cultura_do_sorgo.pdf >. Acesso em: 4 de abril de 2018.

COELHO, A. M. Fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sorgo sacarino. In: MAY, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agronômica e industrial para alimentos e energia. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2011.

CONTIN, T. L. M. Uréia tratada com o inibidor da urease nbpt na adubação de canade-açúcar colhida sem despalha a fogo. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agrônomo, 2007.

DAHLBERG, J. et al. Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: Food, fuels & unique uses. *Maydica*, v. 56, n. 2, p. 85–92, 2011.

DOGGETT, H. Sorghum. 2. ed. England: Longman Scientific & Technical, 1988, p. 1-69.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. C; SCHAFFERT, R. E.; GARCIA, J. C.; VIRMOND, E.; PACHECO, T. F; DIAS, J. M. C. S. Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público - Privada: Oportunidades, Perspectivas e Desafios. Sete lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 76p (Documentos 138).

DUTRA, E. D. et al. Ethanol Production from the Stem Juice of Different Sweet Sorghum Cultivars in the State of Pernambuco, Northeast of Brazil. *Sugar Tech*, v. 15, n. 3, p. 316–321, 2013.

ECULICA, G. C. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de Sorgo sacarino. 2014. 50f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2013. 412 p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. EMBRAPA Solos, 1997, 212 p.

EMYGDIO, B. M.; CHIELLE, Z. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes arranjos de plantas. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2013 (Boletim de pesquisa e desenvolvimento 190).

ERICKSON, J. E.; WOODARD, K. R.; SOLLENBERGER, L. E. Optimizing Sweet Sorghum Production for Biofuel in the Southeastern USA Through Nitrogen Fertilization and Top Removal. *Bioenergy Research*, v. 5, n. 1, p. 86–94, 2012.

FENG, J. et al. Integrated assessment of the impact of enhanced-efficiency nitrogen fertilizer on N₂O emission and crop yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 231, p. 218–228, 2016.

FERNANDES, G. et al. Evaluation of potential ethanol production and nutrients for four varieties of sweet sorghum during maturation. *Renewable Energy*, v. 71, p. 518–524, 2014.

FILHO, I. A. P. et al. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino em Santa Maria. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 12, n. 2, p. 118–127, 2013.

FORMIGA, M. S. et al. A marcha de absorção de nutrientes (NPK) no sorgo granífero sacarino. *Revista Educação Agrícola Superior*, v. 27, n. 1, p. 3–12, 2012.

FRAZÃO, J. J. et al. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 12, p. 1262–1267, 2014.

GUELFÍ, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. Piraciaba: International Plant Nutrition Institute, 2014 (Informações Agronômicas N° 157).

GUPTA, A.; VERMA, J. P. Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 41, p. 550–567, 2015.

HALVORSON, A. D.; DEL GROSSO, S. J.; ALLUVIONE, F. Nitrogen Source Effects on Nitrous Oxide Emissions from Irrigated No-Till Corn. *Journal of Environment Quality*, v. 39, n. 5, p. 1554, 2010.

KANEKO, F. H. et al. Fontes e manejos da adubação nitrogenada em algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 43, n. 1, p. 57–63, 2013.

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 and Biotechnology*, v. 38, n. 7, p. 803–807, 2011.

KIM, S.; DALE, B. E. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy*, v. 26, n. 4, p. 361–375, 2004.

KÖPPEN, W. *Climatologia*. México, Buenos Aires: Ed. Fundo de Cultura Econômica, 1948.

LANDELL, M. G. A. et al. Cana-de-açúcar. In: *Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. p. 106 - 113 (Boletim 200).

MAESTRELO, P. R. et al. Aplicação de ureia revestida em cobertura no milho irrigado sob sistema de semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 9, n. 2, p. 192–199, 2014.

MAGALHÃES, P. C. et al. Exigência edafoclimáticas e fisiologia da produção. In: BOREM, A.; PIMENTAL, L. PARRELLA, R. *Sorgo do plantio à colheita*. Viçosa: UFV, 2014. p. 58-88.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. *Ecofisiologia da Produção de Sorgo*. Sete lagoas: EMBRAPA, 2003 (Comunicado Técnico 87).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. 2ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. p. 115-217.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G. de; SOUZA, R.B. de *Diagnose foliar*. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds) *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.143-168.

MASSON, I. S. et al. Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v. 45, n. 9, p. 1695–1700, 2015.

MAY, A. Boas práticas agrícolas para o cultivo de sorgo sacarino. In: MAY, F. O. M. *Sorgo sacarino: tecnologia agrônomo e industrial para alimentos e energia*. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2011.

MAY, A. et al. Variedades de Sorgo Sacarino em Diferentes Espaçamentos e População de Plantas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 11, n. 3, p. 278–290, 2012.

MISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Renovabio. Disponível em:<
<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>. Acesso em: 10 de julho de 2018.

MISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Resenha energética brasileira. 2017. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0>>. Acesso em: 4 de abril de 2018.

OLIVEIRA, S.A. de Análise foliar. In: SOUZA, D.M.G.de; LOBATO, E. (Eds.) Cerrado correção do solo e adubação. Brasília: EMBRAPA, 2004. p.245-256.

PINHO, R. G. V.; FIORINI, I. V. A.; SANTOS, A O. Botânica. In: BOREM, A.; PIMENTAL, L. PARRELLA, R. Sorgo do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2014. p. 37-57.

R CORE TEAM (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em:<<http://www.Rproject.org/>>. Acesso em: 5 de maio de 2016.

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

REGASSA, T. H.; WORTMANN, C. S. Sweet sorghum as a bioenergy crop: Literature review. Biomass and Bioenergy, v. 64, p. 348–355, 2014.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. World Fuel Ethanol Production. 2017. Disponível em:<<http://www.ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/#1454098996479-8715d404-e546>>. Acesso em: 4 de abril de 2018.

REZENDE, M. L.; RICHARDSON, J. W. Risk analysis of using sweet sorghum for ethanol production in southeastern Brazil. Biomass and Bioenergy, v. 97, p. 100–107, 2017.

RIBAS, P. M. Origem e importância econômica. In: BOREM, A.; PIMENTAL, L. PARRELLA, R. Sorgo do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2014. p. 9-36.

ROSOLEM, C.; MALAVOLTA, E. Estudo preliminar sobre a diagnose foliar do sorgo sacarino. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 17, p.33-38, 1982.

ROSOLEM, C.A.; MALAVOLTA, E. Acumulação de matéria seca e macronutrientes pelo sorgo sacarino. Piracicaba: ESALQ, 1981.v. 38, p. 223-241.

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. *Ciência Rural*, v. 33, n. 4, p. 687–692, 2003.

SANTOS, G. A. Concorrência ampliada dos produtos do sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar no Brasil. In: MAY, F. O. M. *Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia*. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2011.

SANTOS, R. F. et al. Sorgo sacarino na produção de agroenergia. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 4, p. 1–12, 2015.

SCAVAZZA, A. L. Efeitos do manejo nutricional na cultura do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. 2016. 60f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica). Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.

SILVA, A. F. et al. Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2012 (Documentos 139)

SILVA, A. G. B. et al. Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: A meta-analysis. *Agronomy Journal*, v. 109, n. 1, p. 1–13, 2017.

SILVA, D. R. G. et al. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 3, p. 516–523, 2011.

SILVA, D. R. G. et al. Volatilização de Amônia em Resposta ao Uso de Fertilizante de Eficiência Aumentada. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Anais...Natal: 2015

SILVA, M. J. V. da. Avaliação do potencial de diferentes cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) moench) para produção de etanol de 1ª e 2ª geração. 2017. 163f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

SOARES, E. R. et al. Acúmulo de matéria seca e macronutrientes por cultivares de sorgo sacarino. *Ciencias Agrarias*, v. 35, n. 6, p. 3015–3030, 2014.

STIPP, S. R.; PROCHNOW, L. I. Maximização da eficiência e minimização dos impactos ambientais da adubação nitrogenada. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2008, 28p (Informações Agronômicas n° 124).

TASCA, F. A. et al. Volatilização De Amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 35, n. 2, p. 493–509, 2011.

TEIXEIRA, C.G.; JARDINE, J.G.; BEISMAN, D.A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana- de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.17, n.3, pp. 248-251, 1997.

TRENKEL, M. E. Slow- and Controlled-Release and Stabilized fertilizers: option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2010. 60p

TRIVELIN, P. C. O. et al. Nitrogen losses of applied urea in the soil-plant system during two sugar cane cycles. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 37, n. 2, p. 193–201, 2002.

TURGUT, I. et al. Production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels. *Acta Agriculturae Scandinavica*, v. 55, n. 3, p. 236–240, 2005.

VILLALBA, H. A. G. et al. Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias. In: BAZANI, J. H. et al. *Nutrição fosfatada em plantações de eucalipto*. Piraciaba: International Plant Nutrition Institute, 2014 (Informações Agronômicas N° 148).

WU, X. et al. Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation. *Industrial Crops and Products*, v. 31, n. 1, p. 164–170, 2010.

YU, J. et al. Biorefinery of sweet sorghum stem. *Biotechnology Advances*, v. 30, n. 4, p. 811–816, 2012.