

Doses e Fontes de Nitrogênio em Sorgo Biomassa Cultivado em Áreas de Reforma de Canavial



ISSN 1679-0154
Dezembro 2016

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 146

Doses e Fontes de Nitrogênio em Sorgo Biomassa Cultivado em Áreas de Reforma de Canavial

Flávia Cristina dos Santos
André May
Michelli de Souza dos Santos
Manoel Ricardo de Albuquerque Filho
Alexandre Martins Abdão dos Passos
Samara Cristiele Barros da Cruz

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2016

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1100

Fax: (31) 3027-1188

www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau

Membros: Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria Borges

Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone, Monica Matoso

Campanha, Roberto dos Santos Trindade, Rosângela Lacerda de

Castro

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro

Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto(s) da capa: André May

1ª edição

Versão Eletrônica (2016)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Milho e Sorgo

Doses e fontes nitrogênio em sorgo biomassa cultivado em áreas de reforma de canalial / Flávia Cristina dos Santos ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2016.

26 p. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 146).

1. Fertilidade do solo. 2. Plantio direto. 3. Bioenergia. I. Santos, Flávia Cristina dos. II. Série.

CDD 631.84 (21. ed.)

© Embrapa 2016

Sumário

Resumo	4
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	12
Conclusões	21
Referências	21

Doses e Fontes de Nitrogênio em Sorgo Biomassa Cultivado em Áreas de Reforma de Canavial

Flávia Cristina dos Santos¹

André May²

Michelli de Souza dos Santos³

Manoel Ricardo de Albuquerque Filho⁴

Alexandre Martins Abdão dos Passos⁵

Samara Cristiele Barros da Cruz⁶

Resumo

A busca por fontes alternativas e sustentáveis para geração de energia é mandatória frente ao aumento de demanda e diminuição de oferta energética mundial. Neste estudo objetivou-se avaliar os efeitos de doses e fontes de nitrogênio sobre o sorgo biomassa cultivar BRS 716, em área de reforma de canavial. Foram instalados dois experimentos em Guaira-SP: um em sistema de preparo convencional do solo sem a

¹Eng.-Agrôn., Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisadora em Fertilidade do Solo da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Rod. MG 424 Km 45, Zona Rural, CEP: 35701-970, Sete Lagoas, MG, flavia.santos@embrapa.br

²Eng.-Agrôn., D.Sc. em Fitotecnia, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo Rod. MG 424 Km 45, Zona Rural, , CEP: 35701-970, Sete Lagoas, MG andre.may@embrapa.br

³Pós-Doutoranda, Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP-340, km 127,5, Bairro Tanquinho Velho, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP, michellisantos30@hotmail.com

⁴Eng.-Agrôn., D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, , Rod. MG 424 Km 45, Zona Rural, CEP: 35701-970, Sete Lagoas, MG, manoel.ricardo@embrapa.com.br

⁵Eng.-Agrôn., D.Sc. em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424 Km 45, Zona Rural, CEP: 35701-970, Sete Lagoas, MG, alexandre.abdao@embrapa.com.br

⁶Estudante de Agronomia; Universidade Federal de São João del-Rei; Rodovia MG424, CEP 35701-970, Sete Lagoas, MG; samara.cristiele@hotmail.com

presença da palha de cana e o outro sob plantio direto, na presença de palha. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 4 (duas fontes de N - ureia e nitrato de amônio; e quatro doses de N - 0, 80, 160 e 240 kg ha⁻¹). Avaliaram-se atributos agronômicos e a produtividade de biomassa do sorgo na colheita. Não se observou interação significativa para os fatores estudados. Contudo, houve efeito de dose nas variáveis estudadas, com ajuste quadrático para altura de plantas, produtividade de biomassa da matéria fresca e seca por planta e por hectare, e ajuste linear para diâmetro do colmo e porcentagem de matéria seca. A fonte nitrato de amônio gerou a maior produtividade de massa fresca das plantas. As maiores alturas de plantas e rendimento de biomassa fresca e seca foram observadas no preparo convencional do solo. Recomenda-se a dose de 180 kg ha⁻¹ de N utilizando-se o nitrato de amônio como fonte nitrogenada para a otimização da produção do sorgo biomassa.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; fertilização; plantio direto; bioenergia

Rates and Sources of Nitrogen in the Biomass Sorghum Grown in a Sugarcane Area

Flávia Cristina dos Santos¹

André May²

Michelli de Souza dos Santos³

Manoel Ricardo de Albuquerque Filho⁴

Alexandre Martins Abdão dos Passos⁵

Samara Cristiele Barros da Cruz⁶

Abstract

Research in alternative and sustainable sources for power generation is mandatory due to increased demand and reduced energy supply in the world. This study aimed to evaluate the effects of doses and sources of nitrogen on sorghum biomass BRS 716 planted at sugarcane reform area. Two experiments were carried out in a sugarcane field in Guaíra, São Paulo, Brazil: one in conventional farming system, without the presence of sugar-cane straw and another one under no-tillage system, with straw. A randomized complete block design with four replicates in a 2x4 factorial scheme was used. The nitrogen sources urea and ammonium nitrate and four doses of N (0, 80, 160 and 240 kg ha⁻¹) were evaluated. As results, no double and triple interaction were detected for any of the studied factors. The nitrogen rates affected all studied agronomical attributes. Plant height, fresh and dry biomass yield per plant and per hectare presented a relationship classified as second-order polynomial equation and linear adjustment for diameter of the stem and percentage of dry matter. Ammonium nitrate

presented higher fresh biomass per plants and per hectare. Soil management with straw yielded taller plants and boosted the fresh and dry biomass yield. As conclusion, the use of 180 kg ha⁻¹ of nitrogen using ammonium nitrate for sorghum biomass is recommended.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; fertilization; No-tillage; bioenergy.

Introdução

A alta demanda por energia observada nos últimos anos, aliada à baixa precipitação pluviométrica e à elevação dos preços da energia no Brasil, bem como em outros países, evidenciou a necessidade de fontes alternativas e renováveis de energia, como a geração a partir da biomassa.

No Brasil, a cogeração de eletricidade pela queima do bagaço da cana tornou-se um negócio atrativo, representando 70% da geração de energia por biomassa. Atualmente cerca de 7,4% da matriz brasileira de geração de energia elétrica é originária da queima do bagaço da cana-de-açúcar realizada por usinas que comercializam o excedente de energia, sendo a agroeletricidade um dos mais recentes e promissores produtos do agronegócio brasileiro (BRASIL 2015).

Neste contexto, o sorgo biomassa (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) destaca-se como uma das matérias-primas mais promissoras para a geração sustentável de bioenergia, com elevada produção de matéria vegetal em um ciclo de até seis meses, passível de exploração em larga escala em usinas de

cana de açúcar (NAGAI AH et al., 2012; SERNA-SALDÍVAR et al., 2012; AMADUCCI et al., 2016).

Em linhas gerais, embora o sorgo seja reconhecido por sua rusticidade, trata-se de uma cultura responsiva à utilização de tecnologias e insumos, incluindo-se a fertilização (RESENDE et al., 2009; CABRAL et al., 2013; AMADUCCI et al., 2016). Dentre os nutrientes, o nitrogênio possui papel fundamental na nutrição do sorgo, por ser o requerido em maior quantidade e o principal nutriente relacionado ao aumento da produtividade em solos tropicais (AMATYA et al., 2014; LOPES; GUILHERME, 2016). Desta forma, o manejo do nitrogênio em sistemas agrícolas deve ser realizado visando otimizar o seu uso e a exploração agrícola, considerando-se sua dinâmica complexa no sistema solo-planta-atmosfera (MATEUS et al., 2016).

No cultivo do sorgo em área de reforma de canavial há lacunas técnicas quanto a adubação nitrogenada, comparativamente com o cultivo convencional, pois uma cobertura de palha de 10 a 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ de material seco permanece na superfície do solo após a colheita da cana-de-açúcar sem a queima (FORTES et al., 2012). A palha representa uma barreira física à incorporação do N aplicado ao solo, gerando perdas, seja por volatilização, que é favorecida pela utilização de fontes amídicas, seja pela ocorrência de imobilização microbiana de N no solo por causa da alta relação C:N da palha de cana, que é de aproximadamente 100 (FERREIRA et al., 2016). Alternativas na fertilização nitrogenada podem aumentar a eficiência de uso do N pela cultura do sorgo, como, por exemplo, variações na dose para aplicação sobre a palha de cana (OLIVEIRA et al., 2016) e/ou o uso de fontes que incorporam tecnologia para minimizar perdas de N por volatilização.

A ureia é a fonte de N mais utilizada na agricultura em função de seu baixo custo por unidade de N. Entretanto, dependendo das condições em que ela é aplicada, perdas por volatilização podem atingir valores elevados. Há relatos de perda da ordem de 60% do N-fertilizante aplicado sobre a palha de cana-de-açúcar (TRIVELIN et al., 2002), atribuída à elevada taxa de hidrólise enzimática da ureia nessas condições (CANTARELLA et al., 2008). Por sua vez, fontes nítricas, nítrico-amoniacais ou amoniacais, como nitrato de cálcio, nitrato de amônio e sulfato de amônio, respectivamente, apesar de apresentarem custo mais elevados para aquisição, podem ser usadas em sistemas de produção na presença de palha sobre o solo, uma vez que as não há perda de N por volatilização ou se ocorrem são a valores desprezíveis (OLIVEIRA et al., 2016).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes doses e fontes de nitrogênio sobre o sorgo biomassa cultivado em áreas de reforma de canavial, com e sem palha de cana-de-açúcar sobre o solo.

Material e Métodos

Foram conduzidos dois experimentos, durante a safra de 2014/2015, em área comercial de cultivo de cana-de-açúcar da Usina Mandu, pertencente ao Grupo Guarani, em Guáira-SP, em área de reforma de canavial, sob condições de sequeiro. Os dados de precipitação e temperatura média do ar durante o período de cultivo da cultura do sorgo foram coletadas na Usina e na estação automática do INMET de Barretos, aproximadamente 30 quilômetros de distância, respectivamente (Figura 1).

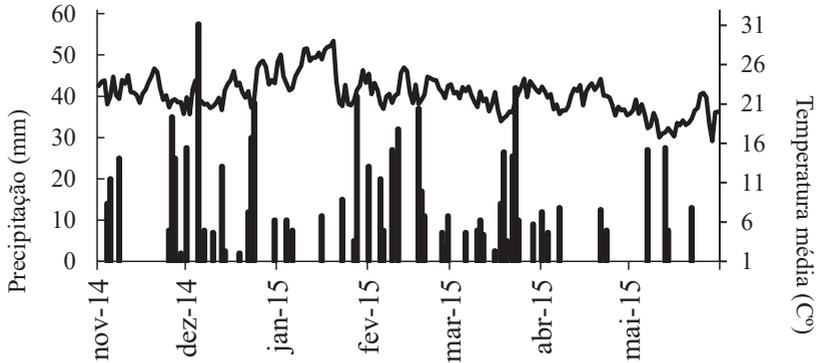


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura média do ar (C°) no período de cultivo do sorgo biomassa, Guaira-SP, 2015.

Um experimento foi instalado em sistema de cultivo convencional de preparo do solo, sem a presença da palha de cana em superfície, que recebeu operações de subsolagem após dessecação da soqueira de cana-de-açúcar, gradagem aradora pesada realizada após a calagem e duas gradagens niveladoras em sequência.

O outro experimento foi estabelecido sob sistema plantio direto, na presença da palha de cana-de-açúcar sobre o solo após a colheita e sem o preparo do solo para implantação do sorgo biomassa em sucessão. A implantação do sorgo foi realizada 90 dias após a colheita da cana-de-açúcar e 60 dias após a dessecação.

A implantação dos dois experimentos foi realizada utilizando semeadora Marchesan de seis linhas com disco de corte de palha de 24 polegadas, desenvolvida com adaptações para o semeio em condições de alto volume de palhada de cana-de-açúcar.

Os experimentos foram instalados em Latossolo Vermelho distroférico típico, com os seguintes atributos químicos e granulométricos na camada 0-20 cm antes da instalação dos experimentos: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,3$; $\text{Al} = 0,0$; $\text{Ca} = 0,7$; $\text{Mg} = 0,2$; $\text{CTC a pH7} = 3,9$ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); $\text{P} = 25,9$; $\text{K} = 30,0$ (mg dm^{-3}); Saturação por bases = 18,1%; teor de argila de 33 dag kg^{-1} e matéria orgânica a $2,2 \text{ dag kg}^{-1}$. O solo foi corrigido com uso de calcário dolomítico (PRNT 95%) visando elevação da saturação por bases a 60%, sendo a aplicação feita um mês antes da semeadura do sorgo. A aplicação do calcário foi feita a lanço, e a incorporação na área do cultivo convencional foi realizada com o auxílio de grade aradora pesada. Na área de plantio direto, ou seja, com a palha de cana mantida na superfície do solo, a incorporação do calcário não foi realizada.

O delineamento experimental utilizado nos dois experimentos foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de um fatorial 2×4 , envolvendo duas fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e quatro doses de N em cobertura (0, 80, 160 e 240 kg ha^{-1}). As parcelas foram constituídas por quatro linhas de 9 metros de comprimento espaçadas em 0,6 metros. A parcela útil foi composta pelas duas linhas centrais de 4 m de comprimento, eliminando-se 2,5 metros de bordadura em cada extremidade.

Utilizou-se o híbrido de sorgo biomassa BRS716. A semeadura foi realizada em 25/11/2014, objetivando o estande final de $170.000 \text{ plantas ha}^{-1}$. A adubação de semeadura foi composta por 400 kg ha^{-1} do formulado 08-28-16. A adubação de cobertura com K utilizou 130 kg ha^{-1} de K_2O (fonte KCl), realizada juntamente com os tratamentos de N, quando as plantas estavam com quatro folhas desenvolvidas (estádio V4). A forma

de aplicação dos fertilizantes em cobertura foi superficialmente, à distância de 20 cm das plantas de sorgo.

A colheita das plantas dos experimentos foi realizada no dia 15/04/2015, quando elas estavam em início de florescimento. Antes da colheita foram avaliadas a altura das plantas (do solo até a folha bandeira, expressa em metros) e o diâmetro médio do colmo (expresso em mm). Estas avaliações foram realizadas em 3 plantas por parcela (avaliações de altura e diâmetro de plantas). Por ocasião da colheita foram avaliadas a massa da matéria verde e de matéria seca por planta (expressas em g planta⁻¹), rendimento de massa da matéria verde e seca por hectare (expressa em Mg ha⁻¹) e porcentagem de massa seca da planta. Realizou-se amostragem em dois metros lineares de planta por parcela. Para fins da determinação da massa da matéria seca a secagem do material colhido foi feita em estufa de circulação forçada a 65 °C até a obtenção de massa constante.

Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta dos dados dos experimentos, com e sem palha de cana, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para avaliar os efeitos da palha e das fontes nitrogenadas sobre as plantas de sorgo. Foram ajustadas equações de regressão polinomiais para modelar o efeito das doses de N. O programa estatístico utilizado foi o SAS 9.4.

Resultados e Discussão

As doses de nitrogênio influenciaram positivamente todos os atributos agrônômicos avaliados nos experimentos. Por sua vez, o rendimento de biomassa fresca foi influenciado pelas

diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados e sistemas de preparo de solo, enquanto o rendimento de biomassa seca foi afetado somente pelo preparo do solo. A presença de palha (sem revolvimento de solo) influenciou a altura das plantas e os rendimentos de biomassa (Tabela 1). Não se observou efeito interativo duplo ou triplo para nenhum dos fatores estudados.

Tabela 1. Efeitos da ausência ou presença da palha de cana e fontes de N para as variáveis altura de plantas, produtividade de massa fresca por hectare (PMF), massa fresca por planta (MF) e produtividade de massa seca por hectare (PMS) Guaira/SP, 2015.

Tratamentos	Altura (m)	PMF (Mg ha ⁻¹)	MF (kg planta ⁻¹)	PMS (Mg ha ⁻¹)
Sem palha	4,81 a	113,53 a	0,82 a	30,83 a
Com palha	4,58 b	96,34 b	0,69 b	23,54 b
Nitrato de amônio	4,68 A	111,12 A	0,69 B	27,9 A
Ureia	4,71 A	98,76 B	0,81 A	26,5 A
DMS	0,12	9,66	0,11	3,00
CV(%)	5,06	18,29	28,97	21,18

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si para o fator palha (sem e com), enquanto médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si para a fonte de nitrogênio (nitrato de amônio e ureia) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O crescimento das plantas de sorgo biomassa foi influenciado positivamente pelo incremento da dose de nitrogênio (Figura 2). A altura das plantas apresentou resposta quadrática em relação

ao aumento na utilização do nitrogênio, promovendo altura máxima de 4,9 metros por meio da utilização de 198,5 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

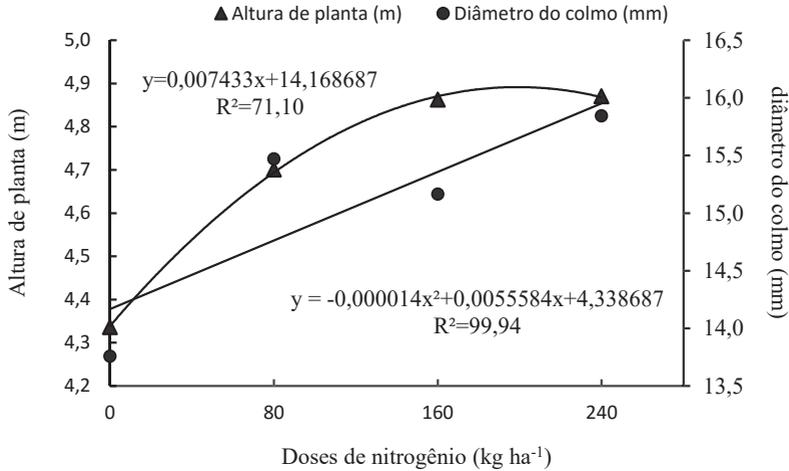


Figura 2. Regressões polinomiais ajustadas para as variáveis altura de plantas e diâmetro do colmo (DC) em função das doses de nitrogênio aplicadas, Guaira-SP 2015.

Incrementando-se a dose aplicada de fertilizante nitrogenado houve aumento linear do diâmetro do colmo. O valor máximo verificado foi de 15,95 mm relativo à máxima dose (240 kg ha⁻¹ de nitrogênio), o que representa um incremento de 1,78 mm superior à testemunha sem fertilização com nitrogênio. Maiores diâmetros de colmo são desejáveis na cultura do sorgo biomassa, pois com o incremento desse atributo agrônômico aumenta-se a resistência ao acamamento, que ocorre em algumas situações nessas culturas e que prejudica a produtividade e o processo de colheita (SABALLOS, 2008; CARVALHO et al., 2013; YAMAGUCHI et al., 2016).

A produtividade de biomassa fresca por hectare foi influenciada positivamente pelo aumento das doses aplicadas de nitrogênio até 163 kg ha^{-1} de N, havendo posterior queda de rendimento com o aumento da dose (Figura 2a). Comparando a produtividade de biomassa fresca da testemunha, sem aplicação de nitrogênio (78 Mg ha^{-1}) com a utilização da dose de 163 kg ha^{-1} de nitrogênio (120 Mg ha^{-1}), comprova-se a elevada resposta do sorgo biomassa à adubação, por meio de um aumento de 54% na produtividade (Figura 2a). Incrementos no rendimento de biomassa e qualidade dessa são citados na literatura quando há utilização de adubação nitrogenada no sorgo, especialmente para a geração de bioenergia que demanda a produção de alto rendimentos de biomassa (SHER et al., 2016) e nas condições tropicais nas quais as culturas são responsivas à fertilização em razão da baixa fertilidade natural dos solos (LOPES; GUILHERME, 2016).

Avaliando-se a resposta à adubação nitrogenada sobre plantas individuais verifica-se comportamento similar à resposta de produtividade de massa da matéria fresca por hectare obtida, com queda no rendimento da massa fresca por planta a partir da dose de 152 kg ha^{-1} de nitrogênio ($0,88 \text{ g planta}^{-1}$). Esses resultados são convergentes aos encontrados por outros autores, tal como Oliveira et al. (2016), que obtiveram modelo de ajuste quadrático para a produtividade de colmos de cana-de-açúcar em resposta às doses de N. Contudo, deve-se verificar que nem sempre a utilização de maiores doses de nitrogênio promove a maior rentabilidade líquida de sistemas envolvendo a cultura do sorgo (MATEUS et al., 2016), havendo-se necessidade de se ponderar as especificidades de cada sistema produtivo avaliado.

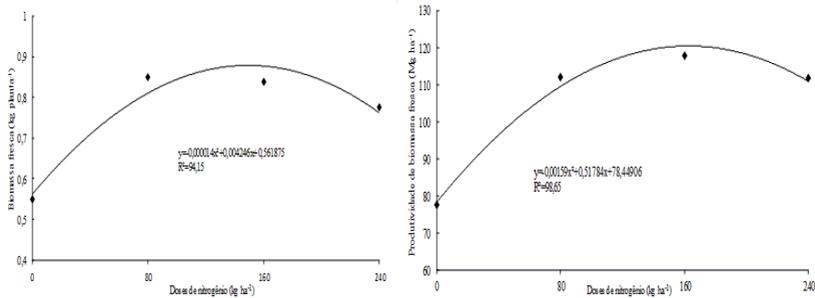


Figura 2a. Regressões polinomiais ajustadas para as produtividades de massa da matéria fresca por planta e por hectare em função das doses de nitrogênio, Guaíra/SP 2015.

A utilização do sorgo biomassa visando sua combustão para geração de energia em usinas de cana-de-açúcar pressupõe a obtenção de uma matéria-prima de baixa umidade e baixos teores de cinza, que gere maior eficiência na queima (CUTZ et al., 2016). Neste sentido, avaliou-se a influência da adubação nitrogenada na umidade do material vegetal obtido. A porcentagem de biomassa seca colhida foi elevada linearmente com o incremento nas doses de N aplicadas, passando de 23,6 para 27,9%, representando um incremento de 18,2% (4,3 pontos percentuais) entre a testemunha e a máxima dose (240 kg ha⁻¹ de N). Este incremento na matéria seca, ou decréscimo no teor de água dos colmos, representa uma resposta satisfatória visando a otimização da combustão da biomassa em caldeiras (MIRANDA et al., 2012; PANNACCI; BARTOLINI, 2016).

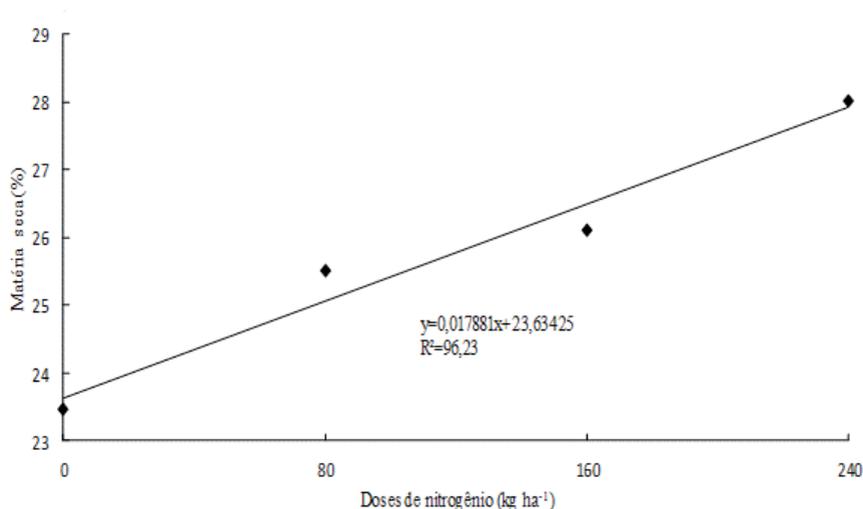


Figura 3. Modelo linear ajustado para dados de matéria seca de biomassa de sorgo biomassa em função das doses de nitrogênio, Guaira/SP 2015.

O ciclo do nitrogênio no sistema solo-planta é bastante complexo e envolve uma série de reações, com destaque para a volatilização, lixiviação, mobilização e mineralização de formas orgânicas (FERREIRA et al., 2016). Com a presença de palha sobre o solo há um ambiente mais favorável a perdas por volatilização e indisponibilização do N pela imobilização, principalmente quando são utilizadas fontes amídicas como a ureia, bem como na presença de palha com elevada relação C/N, sendo o exemplo da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2016). Entretanto, sob plantio direto e com a palha sobre o solo, há também uma série de benefícios, como maior conservação da umidade do solo, resistência à erosão e sustentabilidade do agroecossistema (LOPES; GUILHERME, 2016).

Observou-se superioridade de aspectos produtivos, com destaque para a produtividade de massa fresca, na ausência da palha e estes resultados podem ter sido favorecidos pelo fato de a distribuição de chuvas ter sido regular durante o ciclo do sorgo (Figura 1) e também pela aplicação da calagem superficial e sem incorporação no experimento com palha, inviabilizando a correção necessária do solo nesse sistema de cultivo. Os possíveis efeitos benéficos da presença da palha não foram suficientes para superar o cultivo do sorgo em área sob sistema convencional.

A semeadura do sorgo sob o solo preparado convencionalmente elevou a produtividade de massa fresca do sorgo em 18%, passando de 96,3 Mg ha⁻¹ no sistema de cultivo sob palhada para 113,5 Mg ha⁻¹ no sistema de preparo convencional sem palha superficial (Tabela 1). De forma semelhante, a massa fresca por planta também foi maior no cultivo sem palha de cana, apresentando valores de 0,82 e 0,69 g planta⁻¹ para o cultivo sem e com palha, respectivamente, em função do aumento das plantas em altura no sistema convencional (Tabela 1).

Ao se considerar o incremento no rendimento de biomassa da matéria seca por hectare, o preparo convencional do solo (tratamento sem palha) promoveu incremento de 7,3 Mg ha⁻¹, ou seja, um aumento de 31% na produtividade da lavoura. Esses níveis de rendimento são significativos e superiores aos encontrados por outros autores (THIVIERGE et al., 2015; PANNACCI; BARTOLINI, 2016). Deve-se ponderar, porém, os impactos financeiro e ambiental em função das operações de preparo de solo demandadas no sistema convencional de cultivo, associados ao elevado risco de erosão no cultivo de

sorgo biomassa realizado sob solo desprotegido durante as estações chuvosas (AMADUCCI et al., 2016). O nitrato de amônio é um fertilizante nitrogenado que apresenta menor perda de nitrogênio por volatilização em relação à ureia, embora seu custo por unidade de nitrogênio seja maior. Logo, em cultivos na presença de palha, em que há maior favorecimento a perdas do nitrogênio, o uso do nitrato pode resultar em ganhos significativos (MEGDA et al., 2012). A produtividade de massa fresca foi $12,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ superior quando se aplicou o nitrato de amônio em relação à ureia (Tabela 1), demonstrando que o uso do nitrato de amônio pode ser vantajoso. Contudo, é preciso salientar que o custo do nitrogênio aplicado é maior para essa fonte e que a superioridade produtiva do nitrato de amônio não foi muito elevada. Corroboram com este resultado outros trabalhos realizados avaliando diferentes fontes de nitrogênio, em que o uso de sulfato de amônio e/ou nitrato de amônio geram melhores resultados de produtividade das culturas comparativamente à ureia (LOPES; GUILHERME, 2016).

Apesar de não evidenciadas as interações entre doses de nitrogênio e formas de manejo do solo, há relatos de doses de N da ordem de 110 kg ha^{-1} visando a máxima produtividade da cana em áreas com palha mantida após a colheita (FORTES et al., 2013), dose esta superior a normalmente utilizada (80 kg ha^{-1} de N) (VITTI; MAZZA, 2002).

As produtividades de biomassa da matéria seca foram afetadas positivamente pelo incremento das doses de nitrogênio e variaram de $0,17$ a $0,21 \text{ kg planta}^{-1}$ e de $19,3$ a $30,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ para as avaliações. Os níveis de produtividade de biomassa seca foram apropriados para a cultura, demonstrando o potencial do sorgo biomassa na geração de matéria-prima em curto período.

Os patamares de rendimento do trabalho superaram aqueles verificados por diversos outros autores avaliando a cultura sem irrigação na Itália (AMADUCCI et al., 2016; BARBANTI et al., 2006), nos Estados Unidos (AMATYA et al., 2014; GILL et al., 2014; DOU et al., 2014; HOFFMANN; ROONEY, 2014) e na Índia (JOSE; BHASKAR, 2015).

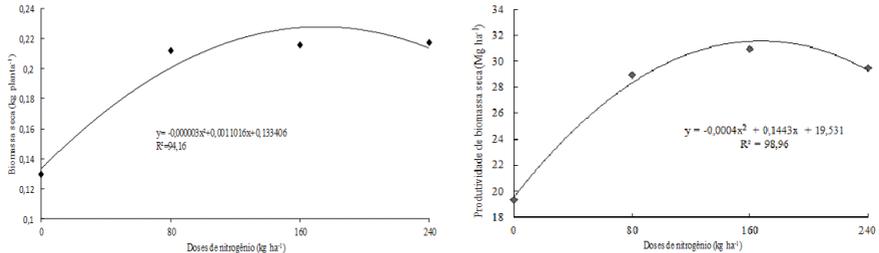


Figura 4. Regressões polinomiais ajustadas para as produtividades de biomassa da matéria seca por planta e por hectare em função das doses de nitrogênio, Guaíra/SP 2015.

Derivando-se o modelo ajustado aos dados de rendimento de biomassa seca por hectare encontra-se uma dose de 180,4 kg de nitrogênio por hectare que promoveu a máxima eficiência de 32,5 Mg ha⁻¹ de biomassa seca. Santos et al. (2014) verificaram, em solo argiloso, uma resposta positiva no incremento da massa seca de sorgo biomassa CMSXS 7020 em função do aumento das doses de nitrogênio, com doses de potássio 60 e 180 kg ha⁻¹, evidenciando o potencial de resposta da cultura ao nutriente. Na dose de potássio de 60 kg ha⁻¹ a máxima produtividade de massa seca (15,7 t ha⁻¹) foi atingida com a dose de 168 kg ha⁻¹ de nitrogênio, ou seja, dose próxima a deste trabalho.

Conclusões

Preparo convencional do solo promove condições mais apropriadas, que o manejo de solo com palha, sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura do sorgo biomassa.

Para a utilização do sorgo biomassa na cogeração de energia em área de reforma de canavial em solo de textura média recomenda-se aplicar 180 kg ha⁻¹ de N e utilizar o nitrato de amônio como fonte de N.

Referências

AMADUCCI, S.; COLAUZZI, M.; BATTINI, F.; FRACASSO, A.; PEREGO, A. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on the production of biogas from maize and sorghum in a water limited environment. **European Journal of Agronomy**, v. 76, p. 54-65, 2016.

AMATYA, P.; WIGHT, J.; MJELDE, J. W.; HONS, F. M. Balancing bioenergy and soil productivity returns for sustainable biomass sorghum [*Sorghum bicolor*]. **BioEnergy Research**, v. 7, n. 4, p. 1144-1154, 2014.

BARBANTI, L.; GRANDI, S.; VECCHI, A.; VENTURI, G. Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. **European Journal of Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 30-39, 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha energética brasileira**. Brasília, DF, 2015. 33 p.

CABRAL, P. H. R.; JAKELAITIS, A.; CARDOSO, I. S.; ARAÚJO, V. T. de; PEDRINI, E. C. F. Interferência de plantas daninhas na cultura do sorgo safrinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 3, p. 308-313, 2013.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 397-401, 2008.

CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. C.; DIAS, C. T. S. Plant growth reducers: an alternative to increase the juice production potential and decrease the lodging of sweet sorghum. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 13, n. 6, p. 774-777, 2013.

CUTZ, L.; HARO, P.; SANTANA, D.; JOHNSON, F. Assessment of biomass energy sources and technologies: the case of Central America. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 1411-1431, 2016.

DOU, F.; WIGHT, J. P.; WILSON, L. T.; STORLIEN, J. O.; HONS, F. M. Simulation of biomass yield and soil organic carbon under bioenergy sorghum production. **Plos One**, San Francisco, v. 9, n. 12, p. e115598, 2014.

FERREIRA, D. A.; FRANCO, H. J.; OTTO, R.; VITTI, A. C.; FORTES, C.; FARONI, C. E.; GARSIDE, A. L. O.; TRIVELIN, P. C. O. Contribution of N from green harvest residues for sugarcane nutrition in Brazil. **GCB Bioenergy**, v. 8, p. 859-866, 2016.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in São Paulo state, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 42, p. 189-198, 2012.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 1, p. 88-96, jan. 2013.

GILL, J. R.; BURKS, P. S.; STAGGENBORG, S. A.; ODVODY, G. N.; HEINIGER, R. W.; MACOON, B.; MOORE, K. J.; BARRET, M.; ROONEY, W. L. Yield results and stability analysis from the sorghum regional biomass feedstock trial. **BioEnergy Research**, v. 7, n. 3, p. 1026-1034, 2014.

HOFFMANN, L.; ROONEY, W. L. Accumulation of biomass and compositional change over the growth season for six photoperiod sorghum lines. **BioEnergy Research**, v. 7, n. 3, p. 811-815, 2014.

JOSE, S.; BHASKAR, T. **Biomass and biofuels: advanced biorefineries for sustainable production and distribution**. Boca Raton: CRC Press, 2015.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Chapter one: career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 137, p.1-72, 2016.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; PARIZ, C. M.; BORGHI, E.; COSTA, C.; MARTELLO, J. M.; FRANZLUEBBERS, A. J.;

CASTILHOS, A. M. Sidedress nitrogen application rates to sorghum intercropped with tropical perennial grasses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, n. 1, p. 433-447, 2016.

MEGDA, M. X. V.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A. C. Eficiência agronômica de adubos nitrogenados em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, p. 1681-1690, 2012.

MIRANDA, M. R.; CARDOSO, C. R.; ATAÍDE, C. H. Physical and chemical characterization of sorghum bagasse. **Materials Science Forum**, v. 727-728, p. 1683-1688, 2012.

NAGAI AH, D.; RAO, P. S.; PRAKASHAM, R. S.; UMA, A.; RADHIKA, K.; BARVE, Y.; UMAKANT, A. V. High biomass sorghum as a potential raw material for biohydrogen production: a preliminary evaluation. **Current Trends in Biotechnology and Pharmacy**, v. 6, n. 12, p. 183-189, 2012.

OLIVEIRA, A. P. P. de; THORBURN, P. J.; BIGGS, J. S.; ZANOTTI, N. E. The response of sugarcane to trash retention and nitrogen in the Brazilian coastal tablelands: a simulation study. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 52, n. 1, p. 69-86, 2016.

PANNACCI, E.; BARTOLINI, S. Evaluation of sorghum hybrids for biomass production in central Italy. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 88, p. 135-141, 2016.

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

SABALLOS, A. Development and utilization of sorghum as a bioenergy crop. In: VERMERRIS, W. (Ed.). **Genetic improvement of bioenergy crops**. Gainesville: University of Florida, 2008. p. 211-248.

SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; RESENDE, A. V. de; OLIVEIRA, A. C. de; GOMES, T. C.; OLIVEIRA, M. S. Adubações nitrogenada e potássica no sorgo biomassa- produtividade e qualidade de fibra. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2014.

SERNA-SALDÍVAR, S. O.; CHUCK-HERNÁNDEZ, C.; PÉREZ-CARRILLO, E.; HEREDIA-OLEA, E. Sorghum as a multifunctional crop for the production of fuel ethanol: current status and future trends. In: LIMA, M. A. P.; NATALENSE, A. P. P. (Ed.) **Bioethanol**. Rijeka: Intech, 2012. p. 51-74.

SHER, A.; HASSAN, F. U.; ALI, H.; HASSAN, W. Seed rate and nitrogen application effects on production and brix value of forage sorghum cultivars. **Grassland Science**, v. 62, n. 2, p. 119-127, 2016.

THIVIERGE, M.-N.; CHANTIGNY, M. H.; BÉLANGER, G.; SEGUIN, P.; BERTRAND, A.; VANASSE, A. Response to nitrogen of sweet pearl millet and sweet sorghum grown for ethanol in eastern Canada. **BioEnergy Research**, Oxford, v. 8, n. 2, p. 807-820, 2015.

TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W. de; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. de C.; BENDASSOLLI, J. A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 2, p. 193-201, fev. 2002.

YAMAGUCHI, M.; FUJIMOTO, H.; HIRANO, K.; ARAKI-NAKAMURA, S.; OHMAE-SHINOHARA, K.; FUJII, A.; TSUNASHIMA, M.; SONG, X. J.; ITO, Y.; NAGAE, R.; WU, J.; MIZUNO, H.; YONEMARU, J. I.; MATSUMOTO, T.; KITANO, H.; MATSUOKA, M.; KASUGA, S.; SAZUKA, T. Sorghum Dw1, an agronomically important gene for lodging resistance, encodes a novel protein involved in cell proliferation. **Scientific Reports**, v. 6, 2016.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Potafos, 2002. 16 p. (Encarte Técnico, 97).

