

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

AUGUSTINHO BORSOI

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TECNOLÓGICAS DO SORGO
SACARINO EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS E ESPAÇAMENTOS
ENTRE LINHAS**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON
2015**

AUGUSTINHO BORSOI

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TECNOLÓGICAS DO SORGO
SACARINO EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS E ESPAÇAMENTOS
ENTRE LINHAS**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Nível Mestrado e Doutorado, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Prof. Orientador: Prof. Dr. José Barbosa Duarte Júnior
Coorientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON
2015**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

Borsoi, Augustinho
B738c Características agronômicas e tecnológicas do sorgo sacarino
em diferentes densidades de plantas e espaçamentos entre
linhas / Augustinho Borsoi. – Marechal Cândido Rondon, 2015.
43 p.

Orientador: Prof. Dr. José Barbosa Duarte Júnior
Coorientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa
Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do
Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2015.

1. Sorgo. 2. Sacarose. 3. Energia da biomassa. I. Duarte
Junior, José Barbosa. II. Costa, Antonio Carlos Torres da.
III. Oliveira, Paulo Sérgio Rabello de. IV. Título.

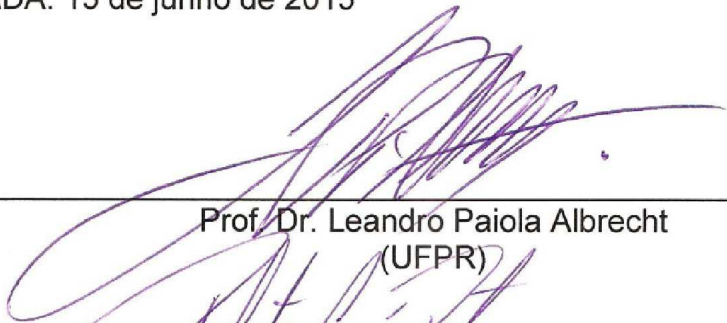
CDD 22.ed.
633.174 CIP-
NBR 12899

AUGUSTINHO BORSOI

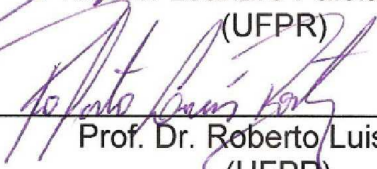
**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TECNOLÓGICAS DO SORGO
SACARINO EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS E
ESPAÇAMENTOS ENTRE LINHAS**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

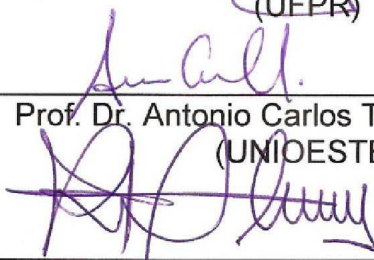
APROVADA: 15 de junho de 2015



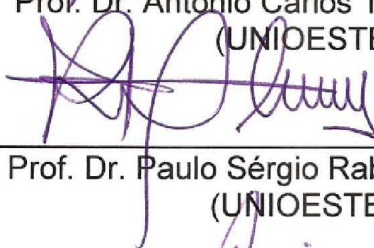
Prof. Dr. Leandro Paiola Albrecht
(UFPR)



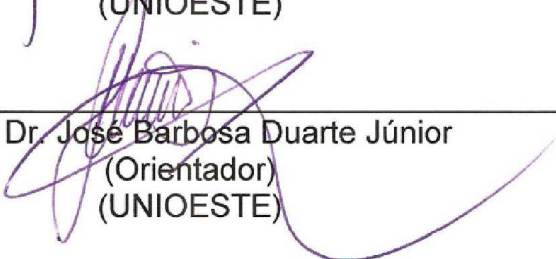
Prof. Dr. Roberto Luis Portz
(UEPR)



Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa
(UNIOESTE)



Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira
(UNIOESTE)



Prof. Dr. José Barbosa Duarte Júnior
(Orientador)
(UNIOESTE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a DEUS por ser a base das minhas conquistas.

Aos meus pais, Elizete e Pedro, pela dedicação, carinho e direcionamento para a vida.

À minha irmã, Joicemara, pelo apoio, carinho e incentivo na minha formação.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pelo apoio durante o Programa de Doutorado.

Ao Prof. Dr. José Barbosa Duarte Júnior, pela orientação, amizade e ensinamentos.

Aos colegas de doutorado, Martios Ecco, Milciades Ariel Melgarejo Arrúa, Jean Sérgio Rosset, Poliana Ferreira da Costa, Jeferson Tiago Piano, Leandro Rampim, Paulo Ricardo Lima, Dangela Maria Fernandes, Jonas Francisco Egewarth, Anderson Santin, André Luiz Piva, Eder Junior Mezzalira, Loreno Egídio Taffarel, entre outros.

Aos Professores Coorientadores: Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa e Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, pela amizade e ensinamentos, além das contribuições no desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores membros da banca de qualificação, Edmar Soares de Vasconcelos e Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, pelos ensinamentos e presteza.

Aos professores e colaboradores do Programa de Pós-graduação em Agronomia que contribuíram significativamente na qualificação acadêmica.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelo acolhimento e oportunidade de realização do curso de Doutorado.

Ao Núcleo de Estações Experimentais, pelo apoio na implantação dos experimentos a campo.

Ao servidor Marcelo Lang do Núcleo de Estações Experimentais pela disponibilidade e colaboração durante a implantação dos experimentos a campo.

À UFPR/RIDESA - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético - pelo apoio na realização das análises tecnológicas do sorgo.

À EMBRAPA Milho e Sorgo pela disponibilização das sementes de sorgo sacarino para implantação dos experimentos a campo.

À CAPES, pelo período de concessão de bolsa de estudos.

Ao colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pelo apoio e consideração.

A todos os colegas do mestrado e doutorado pelo companheirismo, amizade, incentivo e cooperação.

BIOGRAFIA

Augustinho Borsoi é nascido no dia 01 de janeiro de 1985 em Catanduvas, Paraná. Filho e neto de agricultores, cresceu e convive com a agricultura desde criança.

Colou grau de Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 2010, pela Faculdade Assis Gurgacz – FAG, de Cascavel, Paraná.

Após o término da graduação, dando prosseguimento aos estudos, iniciou no ano de 2010 o mestrado em Energia na Agricultura na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, *Campus* Cascavel.

No ano de 2012 concluiu o mestrado em Energia na Agricultura, na UNIOESTE, *Campus* Cascavel, e iniciou o Doutorado em Agronomia na mesma instituição, porém no *Campus* Marechal Cândido Rondon.

Com esta tese conclui o Doutorado em Agronomia, área de concentração produção vegetal, manejo de culturas, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

RESUMO

Borsoi, Augustinho; Dr., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Julho - 2015. **Características agronômicas e tecnológicas do sorgo sacarino em diferentes densidades de plantas e espaçamentos entre linhas.** Orientador: Prof. Dr. José Barbosa Duarte Júnior. Coorientadores: Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa e Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira.

Plantas espaçadas de forma equidistante competem minimamente por nutrientes, luz e outros fatores e a adequada distribuição espacial das plantas é essencial para maximizar o desempenho da cultura. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características agronômicas e tecnológicas do sorgo sacarino em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas. O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em Marechal Cândido Rondon-PR, nas de verão de 2013/2014 e 2014/2015 e na segunda safra no ano de 2013 e 2014. Foi utilizado delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial (4x4), com quatro espaçamentos (0,25; 0,5; 0,8 e 1,0 m entre linhas) e quatro densidades de plantas (50; 75; 100 e 125 mil plantas ha⁻¹). Foram avaliadas a altura de plantas, diâmetro de colmo, número de perfilhos, número de internódios, comprimento de internódios, massa seca total, produtividade e teor de Brix. Na segunda safra também foram avaliadas o POL (sacarose aparente) e ATR (açúcares totais recuperáveis). Os resultados demonstraram influência do espaçamento entre linhas sobre a produtividade de colmos e massa seca de planta, onde espaçamentos menores proporcionaram melhores resultados na safra 2013/14 e 2014/15. Para a segunda safra, a produtividade de colmos variou entre 12,2 a 50,8 t ha⁻¹ na safra 2013 e de 9 a 51 t ha⁻¹ na safra 2014. Já para a safra normal 2013/14, a produtividade média de colmos foi de 92,67 t ha⁻¹ e 83,32 t ha⁻¹ na safra 2014/15. Não foi verificada diferença significativa ($p \leq 0,05$) para a variável Brix nas safras de verão (média 20,5 graus Brix), já na segunda safra o Brix médio foi 12,2. Menores espaçamentos resultam em melhores características agronômicas e características tecnológicas.

Palavras-chave: Etanol. Bioenergia. Sacarose.

ABSTRACT

Borsoi, Augustinho; Dr., State University of West Paraná, in July- 2015. **Agronomic and technological characteristics of sweet sorghum at different plant densities and row spacings.** Advisor: Prof. Dr. José Barbosa Duarte Júnior. Co-advisors: Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa and Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira.

Plants spaced by an equal distance compete minimally for nutrients, light and other factors, thus, proper spatial distribution of the plants is essential to maximize the performance of the crop. In this sense, the aim of this study was to evaluate the agronomic and technological performance of sweet sorghum at different row spacings and plant densities. The experiment was conducted in the experimental area of the State University of West Paraná (UNIOESTE) in Marechal Candido Rondon-PR, in the summer crop of 2013/2014 and second crop of 2014/2015. The experimental design consisted of randomized blocks in a 4x4 factorial scheme, with four spacings (0.25, 0.5, 0.8 and 1.0 m between rows) and four plant densities (50, 75, 100 and 125 thousand plants ha⁻¹). We evaluated the following parameters: plant height, stem diameter, number of tillers, number and length of internodes, total dry mass, productivity and Brix content. In the second crop we also assessed the percentage of saccharose and the total sugar recoverable. The results showed the influence of row spacing on the production of stems and plant dry mass. Smaller spacings provided better results in both seasons (2013/14 and 2014/15). In the second crop, the production of stems ranged from 12.2 to 50.8 t ha⁻¹ in 2013 and from 9 to 51 t ha⁻¹ in 2014. As for the normal growing season 2013/14, the average production of stems was 92.67 t ha⁻¹, whereas in the season 2014/15 production was 83.32 t ha⁻¹. There was no significant difference ($p \leq 0.05$) in what concerns to Brix in the summer crops (average 20.5 °Bx) and in the second crop the average Brix content was 12.2 °Bx. Smaller spacings resulted in better agronomic characteristics and technological.

Keywords: Ethanol. Bio-energy. Saccharose.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E TECNOLÓGICAS DO SORGO SACARINO BRS 506 EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS E ESPAÇAMENTOS ENTRE LINHAS.....	6
2.1. INTRODUÇÃO	7
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
2.4. CONCLUSÕES.....	18
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
3. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DE SORGO SACARINO SEGUNDA SAFRA EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS E ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS.....	21
3.1. INTRODUÇÃO	22
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.4. CONCLUSÕES.....	32
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
4. CONCLUSÕES GERAIS.....	35

1. INTRODUÇÃO GERAL

As questões energéticas, ambientais e sociais são temas amplamente debatidas pela mídia e pela sociedade, trazendo à tona o debate sobre a importância do desenvolvimento sustentável, com justiça social e preservação dos recursos naturais, além da preocupação com o futuro do planeta, devido ao controverso cenário causado pelo aquecimento global, decorrente das atividades humanas (GOES et al., 2008).

Uma das principais saídas para o problema da emissão de poluentes é a produção de biocombustíveis ou combustíveis renováveis, produzidos a partir de plantas, o que praticamente zera a emissão de carbono para a atmosfera, pois as plantas fecham o ciclo do carbono que é consumido durante a fotossíntese. Possibilitando a substituição de derivados de petróleo, principalmente diesel e gasolina, que são os mais utilizados no sistema de transporte no mundo todo, por etanol, por exemplo, biocombustível produzido a partir de cana-de-açúcar (LEME, 2004).

Entre os biocombustíveis, o etanol é responsável por cerca de 90% do total da produção em diferentes partes do mundo (PRABU; MURUGESAN, 2011). Sua utilização pode ser de diferentes formas, sendo que no Brasil seu consumo é realizado principalmente através dos veículos flex abastecidos com etanol ou gasolina (ALBUQUERQUE et al., 2012).

A cana-de-açúcar é a cultura principal utilizada para produção de etanol, surgindo como uma alternativa complementar, o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tem recebido destaque principalmente no Brasil. O sorgo é um cereal de grande importância no mundo, ficando em quinto lugar no volume de produção, ficando atrás do milho, trigo, arroz e cevada. Além disso, a cultura do sorgo como planta tropical, possui boa adaptação as condições edafoclimáticas, menor exigência nutricional e cultivo mecanizado (TSUNECHIRO, 2002).

É uma planta altamente eficiente no uso da água, mesmo em áreas onde há frequentes períodos de seca e altas temperaturas, devido ao seu sistema radicular profundo e ramificado o qual é eficiente na extração de água do solo e a diminuição do metabolismo (murcha), apresentando um poder extraordinário de recuperação quando o estresse é interrompido (EMBRAPA, 2010).

O ciclo de produção é anual e sua colheita é realizada com aproximadamente 120 a 130 dias após a semeadura (CHIELLE et al., 1984). Por essa rapidez na produção, o sorgo tem despertado o interesse da indústria para a produção de etanol, principalmente para ser

cultivado no período de entressafra da cana. Apresenta alta produtividade de biomassa verde (60 a 80 t ha⁻¹), com altos rendimentos de etanol (3.000 a 6.000 L ha⁻¹), com bagaço utilizável como fonte de energia (vapor para industrialização e cogeração de eletricidade) (PURCINO, 2011).

No Brasil, onde a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para produção de etanol, o sorgo sacarino tem ocupado áreas de reforma dos canaviais, pois apresenta uma alternativa técnica e economicamente viável para fornecimento de matéria-prima à destilaria em início de safra, evitando o corte antecipado da cana-de-açúcar, diminuindo também o período em que a destilaria não tem matéria prima para operar (SOUZA, 2011).

As usinas de etanol apresentam um período de entressafra que pode chegar a quatro meses, no qual as máquinas ficam paradas por não haver matéria prima disponível, neste caso o sorgo sacarino possibilitaria reduzir esse tempo de ociosidade das máquinas, pois pode se utilizar os mesmos equipamentos de moagem, fermentação e destilação utilizados para a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar para produzir etanol de sorgo (ALBUQUERQUE et al., 2012).

Outra possibilidade para o sorgo sacarino é o uso pela agricultura familiar e por cooperativas de produtores, baseados em micro em mini destilarias ou micro destilarias de etanol, produção de aguardente, entre outros produtos, contribuindo assim para a sustentabilidade no meio rural, principalmente em regiões onde a cana não tem um bom desenvolvimento e pela facilidade de manejo em relação a cana-de-açúcar (RIBEIRO FILHO et al., 2008).

Para o cultivo do sorgo e demais culturas, diversas práticas culturais são importantes, entre as práticas culturais empregadas para a obtenção de maior produção das espécies vegetais, a escolha do melhor arranjo de plantas é importante por favorecer o controle de invasoras e maior eficiência no aproveitamento dos recursos do ambiente, como luz e água (ALBUQUERQUE et al., 2012).

Em relação ao cultivo de sorgo sacarino, a literatura é escassa no que se refere ao manejo da cultura, em especial ao espaçamento, à densidade de semeadura, à época de plantio e à profundidade de plantio, tanto em sistema de semeadura convencional quanto direta. Para cultura expressar todo potencial produtivo, é necessário um manejo adequado, proporcionando altos rendimentos em diferentes condições e níveis tecnológicos sustentáveis (MAY et al., 2012).

Além disso, a adequada distribuição espacial das plantas é essencial para maximizar o desempenho da cultura, sem custo adicional, indicando que a densidade de semeadura é um componente importante do sistema de produção, sendo esta função da cultivar e da disponibilidade hídrica e/ou de nutrientes (COELHO et al., 2002).

Aumentar a densidade de plantas pode resultar na redução do seu diâmetro, provocando acamamento e quebraimento de plantas, por isso altas populações devem ser evitadas. A escolha do melhor arranjo de plantas é fundamental para o estabelecimento da cultura, tendo em vista que o rendimento é diretamente influenciado pela interceptação da radiação solar (MAY et al., 2012).

O arranjo de plantas adequado pode ser obtido pela manipulação do espaçamento entre plantas na linha de plantio (densidade) e/ou pelo espaçamento das entrelinhas. Este arranjo interfere diretamente na produção de colmo (altura e diâmetro), que influencia a produção de caldo em função da biomassa verde. Deste modo, deve-se adotar arranjos de semeadura que proporcionem incremento dessas variáveis na colheita (MAY et al., 2012).

Ainda de acordo com May et al. (2012), a melhor distribuição das plantas na área permite maior eficiência na utilização de radiação solar, água, nutrientes e tende a facilitar o controle das plantas daninhas pelo fechamento rápido da cultura. Pode ainda reduzir a erosão pela cobertura do solo e semeadura de melhor qualidade pela melhor distribuição das sementes devido à menor velocidade de rotação do sistema de distribuição das sementes da semeadora.

De maneira geral, há tendência de aumento de produtividade da cultura em condições de espaçamento reduzido entre linhas, associado a maiores densidades populacionais, por mostrar vantagens potenciais quanto ao aumento na eficiência de utilização de luz solar, água, nutrientes e melhor controle de plantas daninhas (NEUMANN et al., 2008).

1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

CHIELLE, Z. G.; TOMAZZI, D. J.; LOSSO, A. C.; RAUPP, A. A. A.; PERES, P. S.; PORCIUNCULA, J. A. F. Ensaio Sul-Riograndense de sorgo para corte ou pastejo 2000/2001, resultados da rede estadual. In: REUNIAO TECNICA ANUAL DO MILHO, 46; REUNIAO TECNICA ANUAL DO SORGO, 29, 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: EMATER/RS, 2001. CD-ROM.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. Seja doutor de seu sorgo. Potafós. **Informações Agronômicas**, v. 1, n. 100, 2002. 24 p.

GOES, T.; MARRA, R.; SOUZA E SILVA, G. Setor sucroalcooleiro no Brasil: situação atual e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, v. 1, n. 2, p. 39-52, 2008.

LEME, Rodrigo Marcelo. Álcool combustível derivado da cana-de-açúcar e o desenvolvimento sustentável. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5. 2004, Campinas. **Proceedings online...** Campinas: Unicamp, 2004.

MAY, A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; SILVA, A. F.; PEREIRA FILHO, I. A. Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa: **Manejo e tratos culturais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 120 p.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; NÖRNBERG, J. L.; OLIBONI, R.; PELLEGRINI, L. G.; FARIA, M. V.; MARAFON, F. Influência do espaçamento entre linhas e da densidade de semeadura no cultivo do sorgo em manejo de cortes. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 3, 2010.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; NÖRNBERG, J. L.; OLIBONI, R.; PELLEGRINI, L. G.; FARIA, M. V.; OLIVEIRA, M. R. Efeito associativo do espaçamento entre linhas de plantio, densidade de plantas e idade sobre o desempenho vegetativo e qualitativo do sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, n. 2, p. 165-181, 2008.

PURCINO, A. Á. C. Sorgo sacarino: tecnologia agronômica e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2011.

RIBEIRO FILHO, N. M.; FLORENCIO, I. M.; ROCHA, A. S.; DANTAS, J. P.; FLORENTINO, E. R.; SILVA, F. L. H. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 1, n. 1, p. 9-16, 2008.

SOUZA, V. F. de. **Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino**. 2011. 53 p. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

TSUNECHIRO, A.; MARIA MARIANO, R.; MARTINS, V. A. Produção e preços de sorgo no estado de São Paulo, 1991-2001. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, n. 1, p. 15-24, 2002.

2. Características agronômicas e tecnológicas do sorgo sacarino BRS 506 em diferentes densidades de plantas e espaçamentos entre linhas

Resumo: A adequada distribuição espacial das plantas é essencial para maximizar o desempenho da cultura do sorgo. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo e tecnológico de sorgo sacarino BRS 506 em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas. O experimento foi conduzido na área experimental da UNIOESTE, em Marechal Cândido Rondon-PR, nas safras 2013/2014 e 2014/2015, em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial (4x4), com quatro espaçamentos (0,25; 0,5; 0,8 e 1,0 m entre linhas) e quatro densidades de plantas (50; 75; 100 e 125 mil plantas ha⁻¹), com três repetições. Foram avaliadas a altura de plantas, diâmetro de colmo, número de perfilhos, número de internódios, comprimento de internódios, massa seca total, produtividade e teor de Brix. Os resultados demonstraram influência do espaçamento entre linhas sobre a produtividade de colmos e massa seca de planta, onde espaçamentos menores obtiveram melhores resultados na safra 2013/14 e 2014/15. A produtividade média de colmos na safra 2013/14 foi de 92,67 t ha⁻¹ e 83,32 t ha⁻¹ na safra 2014/15. Não foi verificada diferença significativa ($p \leq 0,05$) para a variável Brix, obtendo valores médios de 20,3 °Bx para safra 2013/14 e 21,52 °Bx para safra 2014/15. Conclui-se que menores espaçamentos resultam em melhores características agronômicas e não interferem na quantidade de sólidos solúveis do caldo.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. Agroenergia. Etanol.

Abstract: Proper spatial distribution of the plants is essential to maximize the performance of the sorghum crop. In this sense, the aim of this study was to evaluate the agronomic and technological performance of sweet sorghum BRS506 at different row spacings and plant densities. The experiment was conducted in the experimental area of the State University of West Paraná (UNIOESTE) in Marechal Candido Rondon-PR, in the seasons of 2013/2014 and 2014/2015. The experimental design consisted of randomized blocks in a 4x4 factorial scheme, with four spacings (0.25, 0.5, 0.8 and 1.0 m between rows) and four plant densities (50, 75, 100 and 125 thousand plants ha⁻¹). We evaluated the following parameters: plant height, stem diameter, number of tillers, number and length of internodes, total dry mass,

productivity and Brix content. The results showed the influence of row spacing on the production of stems and plant dry mass. Smaller spacings provided better results in both seasons (2013/14 and 2014/15). In the second crop, the production of stems ranged from 12.2 to 50.8 t ha⁻¹ in 2013 and from 9 to 51 t ha⁻¹ in 2014. In the season 2013/14, the average production of stems was 92.67 t ha⁻¹, whereas in the season 2014/15 production was 83.32 t ha⁻¹. There was no significant difference ($p \leq 0.05$) in what concerns to Brix content. Average values obtained were 20.3 °Bx in the season 2013/14 and 21.52 °Bx in the season 2014/15. Smaller spacings result in better agronomic characteristics and do not affect the amount of soluble solids in the juice.

Keywords: *Sorghum bicolor*. Agrienergy. Ethanol.

2.1. INTRODUÇÃO

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é um cereal de grande importância econômica, pertencente à família das poaceas, originário do continente africano. É cultivado preferencialmente para a produção de grãos, mas também há variedades de sorgo para a produção de massa verde para pastoreio, feno e silagem, para a produção de álcool ou açúcar e para a produção de vassouras (TSUNECHIRO, 2002).

O ciclo de produção é anual e sua colheita é realizada com aproximadamente 120 a 130 dias após a semeadura (BYE, 1993). Por essa rapidez na produção, o sorgo tem despertado o interesse da indústria para a produção de etanol (LIPINSKI; KRESOVICH, 1992).

O sorgo sacarino se assemelha à cana-de-açúcar, uma vez que o armazenamento do açúcar ocorre no colmo, além de fornecer bagaço para a indústria (Teixeira et al., 1997). O suco extraído da cana de sorgo doce contém altos níveis de sacarose e açúcar invertido, que são facilmente fermentados para produzir etanol (PRASAD et al., 2007).

Além disso, apresenta alta produtividade de biomassa verde (60 a 80 t ha⁻¹), com altos rendimentos de etanol (3.000 a 6.000 L ha⁻¹), com bagaço utilizável como fonte de energia (vapor para industrialização e cogeração de eletricidade). Obter maiores produtividades para a cultura do sorgo é desafio constante para pesquisa e o manejo das práticas culturais é um dos que afetam diretamente a produtividade (PURCINO, 2011).

Entre as práticas culturais empregadas para a obtenção de maior produção das espécies vegetais, a escolha do melhor arranjo de plantas é importante por favorecer o controle de invasoras e maior eficiência no aproveitamento dos recursos do ambiente, como luz e água (ALBUQUERQUE et al., 2012).

Plantas espaçadas de forma equidistante competem minimamente entre si. De maneira geral, há tendência de aumento de produtividade da cultura em condições de espaçamento reduzido entre linhas, associado a maiores densidades populacionais, por mostrar vantagens potenciais quanto ao aumento na eficiência de utilização de luz solar, água, nutrientes e melhor controle de plantas daninhas (NEUMANN et al., 2008; ALBUQUERQUE et al., 2012).

Em trabalhos nos quais se avaliou o sorgo granífero semeado em diferentes arranjos de plantas com menores espaçamentos e maiores densidades foram proporcionados maiores incrementos da produtividade de grãos (MEIRA et al., 1977). Em contrapartida, Baumhardt e Howell (2006) não constataram influência da população de plantas na produtividade de grãos em área de sequeiro e nos menores espaçamentos também foi aumentada a produtividade de grãos.

Albuquerque et al. (2011) trabalhando com diferentes espaçamentos entre linhas (50 cm, 70 cm e 90 cm) e densidades de semeadura (100 mil, 140 mil e 180 mil plantas ha⁻¹) e diferentes cultivares para sorgo granífero, na região norte de Minas Gerais, observaram que a viabilidade do aumento da densidade de semeadura é dependente da cultivar, do espaçamento e das condições climáticas prevalentes no ano agrícola considerado.

Neumann et al. (2010), realizaram estudo visando avaliar o efeito associativo do espaçamento entre linhas de plantio (30, 50 e 70 cm) e densidade de plantas (300, 450 e 600 mil plantas ha⁻¹) em três datas de avaliação sobre o desempenho vegetativo produtivo e qualitativo do sorgo para corte, verificou que a densidade de semeadura não afetou a produção, composição física e o valor nutricional da planta de sorgo em regime de corte, já o espaçamento de 70 cm entre linhas propiciou maior produção de massa seca.

A redução do espaçamento entrelinhas para a cultura do sorgo sacarino resulta em melhoria das características agronômicas importantes para produção de etanol. A população de plantas pode ser influenciada por fatores ambientais e pelo espaçamento, nem sempre contribuindo para aumento da produção. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características agronômicas e tecnológicas do sorgo sacarino sob diferentes espaçamentos entre linhas e densidades.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado na safra 2013/2014 em 07 de outubro 2013 e na safra 2014/2015 em 17 de setembro 2014, na Estação Experimental Prof. Dr. Antônio Carlos dos Santos Pessoa da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizada no município de Marechal Cândido Rondon-PR, com coordenadas de latitude: 24°28'29.33"S, longitude: 54° 0'42.90"O e altitude de 370 m.

De acordo com mapa de solos do estado do Paraná (BHERING, 2007), o solo da região é classificado como LATOSSOLO VERMELHO, com as seguintes características químicas para a safra de 2013/2014: pH (CaCl₂) = 4,6; MO = 23,24 g.dm⁻³; P = 25,41 mg.dm⁻³; Ca²⁺ = 4,74 cmolc.dm⁻³; Mg²⁺ = 1,36 cmolc.dm⁻³; K⁺ = 0,41 cmolc.dm⁻³; Al³⁺ = 0,4 cmolc.dm⁻³; H+Al = 7,52 cmolc.dm⁻³; SB = 6,51 cmolc.dm⁻³; CTC = 14,03 cmolc.dm⁻³ e V% = 46,40% e para a safra 2014/2015: pH (CaCl₂) = 4,7; MO = 32,81 g.dm⁻³; P = 32,48 mg.dm⁻³; Ca²⁺ = 5,36 cmolc.dm⁻³; Mg²⁺ = 1,52 cmolc.dm⁻³; K⁺ = 0,36 cmolc.dm⁻³; Al³⁺ = 0,35 cmolc.dm⁻³; H+Al = 7,32 cmolc.dm⁻³; SB = 7,24 cmolc.dm⁻³; CTC = 14,56 cmolc.dm⁻³ e V% = 49,05%.

O clima da região, conforme o sistema de classificação climática de Köppen, caracteriza-se como Cfa - Clima subtropical, temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. Com precipitação anual entre 1800 a 2000 mm e temperatura média entre 21 a 22°C (CAVIGLIONE et al., 2000).

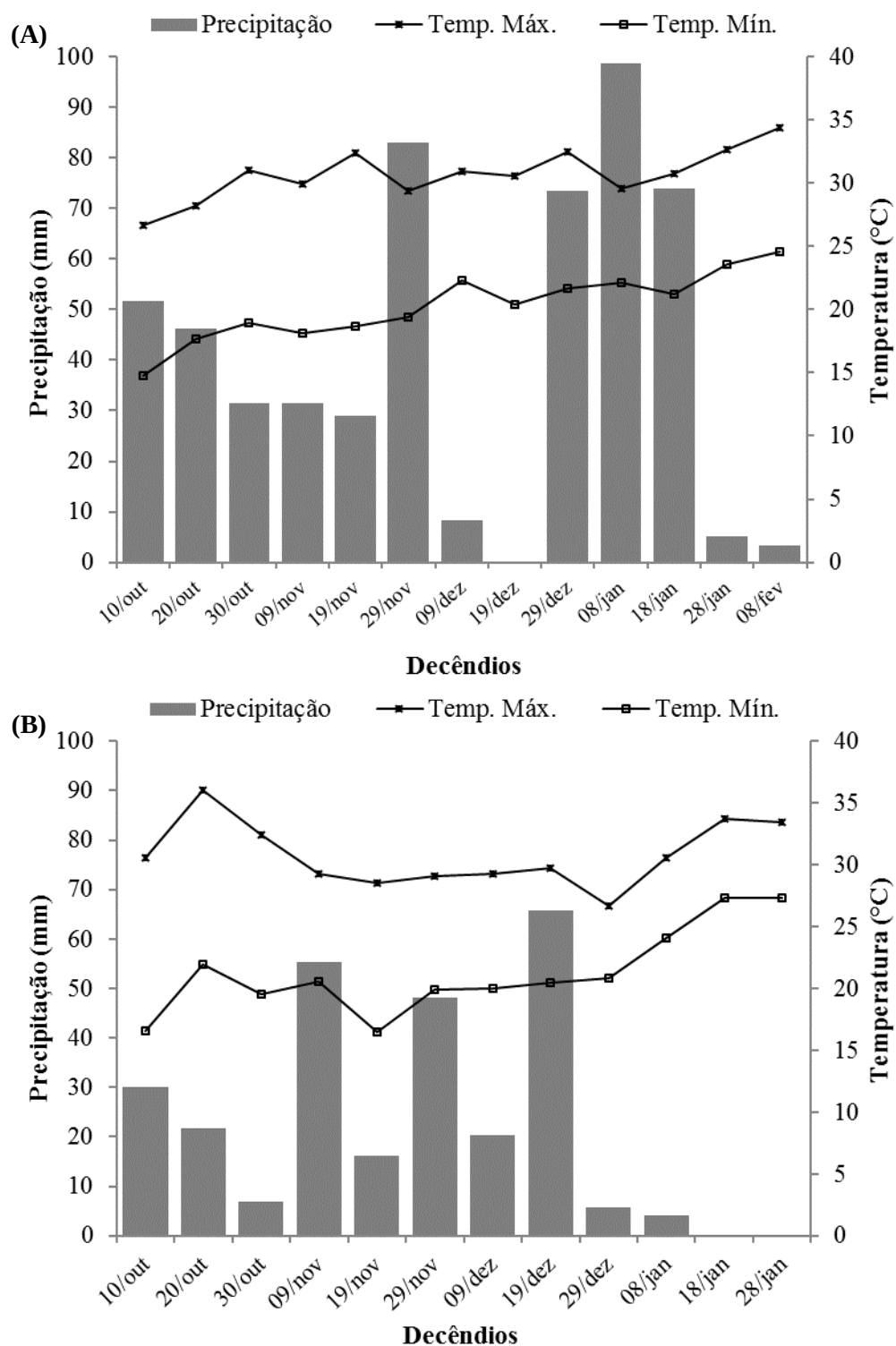


Figura 1 - Dados meteorológicos decendiais do período entre outubro de 2013 a fevereiro de 2014 (a) e outubro de 2014 a janeiro de 2015 (b). Precipitação (mm), médias de temperatura máxima (Temp. Máx.) e temperatura mínima (Temp. Mín.). Fonte: Estação climatológica da UNEMET/Marechal Candido Rondon/PR.

O experimento foi implantado no sistema de semeadura convencional, em uma área de pousio de um ano (plantas espontâneas). Foi realizada a correção da acidez com aplicação

de calcário calcítico 45 dias antes da semeadura, segundo recomendação para a cultura do sorgo (Embrapa, 2012). A adubação para a cultura foi realizada com base na produção de matéria seca pela cultura, níveis disponíveis de nutrientes no solo e quantidade de nutrientes extraída pela cultura.

Na safra 2013/2014 foram aplicados 450 kg ha⁻¹ de NPK (10-15-15) na base e 120 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K em cobertura aos 35 dias após a emergência (DAE) e na safra 2014/2015 foram aplicados 400 kg ha⁻¹ de NPK (8-20-20) na semeadura e 120 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K em cobertura aos 35 dias após a emergência (DAE).

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados (D.B.C.), com três repetições, em esquema fatorial (4x4), composto por quatro espaçamentos entre linhas (0,25; 0,5; 0,8 e 1,0 m) e quatro densidades de plantas (50; 75; 100 e 125 mil plantas ha⁻¹). Cada unidade experimental era composta por 5 linhas de 5 m de comprimento e a área útil, as duas linhas centrais, eliminando-se 0,5 m em cada extremidade.

A semeadura foi realizada manualmente abrindo sulcos nos espaçamentos determinados. Após a emergência foi realizado desbaste para que cada tratamento contivesse o número de plantas nas densidades pretendidas. O controle de plantas daninhas foi realizado através de capina manual e foram efetuadas aplicações de inseticida (Clorpirifós - 0,7 L ha⁻¹ do produto comercial) para controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda* (Smith)) e fungicida (Azoxistrobina + Ciproconazol – 0,4 L ha⁻¹ do produto comercial) para controle de doenças.

A cultivar de sorgo utilizada no experimento foi a BRS 506, que apresenta apresentar insensibilidade ao fotoperiodismo, porte alto, ciclo de 120 a 130 dias, colmos com alto teor de açúcares e produção de massa seca entre 50 a 60 t ha⁻¹ (Embrapa, 2014).

Aos 119 DAE (safra 2013/14) e 125 DAE (safra 2014/15) foram realizadas as avaliações agrônômicas e tecnológicas, no momento em que as plantas encontravam-se em estágio de maturação fisiológica, ponto no qual se tem a maior concentração de açúcar no colmo.

Foram avaliadas as características agrônômicas do número de plantas por hectare através da contagem do número de plantas em 2 m lineares em cada parcela. Em seguida foram separadas 10 plantas por parcela em que foram mensuradas a altura de plantas, considerando a distância entre a base até o último nó, diâmetro basal do colmo no segundo entrenó, número de entre nós e comprimento médio de entre nós.

Para o número de perfilhos, foram avaliadas 10 plantas por parcela antes do corte. Para avaliação da massa seca, foram utilizadas três plantas inteiras por parcelas, colocando o material fresco para secar em estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até peso constante, posteriormente foi realizada a conversão para toneladas por hectare de matéria seca.

Na determinação da produtividade (TCH – toneladas de colmos por hectare) foi utilizada como área útil 2 m lineares da linha central de cada parcela, cortando-se as plantas rente ao solo, separado folhas e panícula e pesado para obtenção da massa fresca de colmos para posterior conversão em TCH.

Para avaliação do Brix (sólidos solúveis presentes no caldo), as plantas colhidas da área útil foram processadas em moenda para extração do caldo e imediatamente efetuada a leitura do teor de °Bx utilizando refratômetro digital portátil.

Os dados foram submetidos a análise da variância através do teste F a 5% de probabilidade, e quando houve diferença estatística significativa os dados foram ajustados através de equações de regressão, utilizando o programa estatístico SISVAR 5.3 (Ferreira, 2011). Como foram dois anos de experimento, sugere-se a aplicação da análise conjunta, no entanto, não foi aplicado neste caso devido à relação de quadrados médios residuais ser maior que sete, conforme recomendação de Pimentel-Gomes (1990).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analizando os resultados obtidos da análise de variância (Tabela 1), verificou-se que não há diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) para as variáveis número de perfilhos, número de internódios, comprimento de internódios e Brix para a safra 2013/2014 e número de internódios, comprimento de internódios e Brix para a safra 2014/2015, em função dos diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas.

Para as variáveis altura de plantas, diâmetro de colmo, matéria seca de plantas e produtividade de colmos na safra 2013/14 e 2014/15 e número perfilhos na safra 2014/15 houve diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), ou seja, os diferentes espaçamentos entre linhas e densidade de plantas influenciaram o resultado dessas variáveis.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para número perfilhos (NP), diâmetro de colmo (DIÂM.), altura (ALT), comprimento de internódios (CI), número internódios (NI), matéria seca de plantas (MSP), produtividade (PROD) e Brix de sorgo sacarino cultivado em diferentes espaçamentos e densidades de plantas. Marechal Candido Rondon/PR, safras 2013/14 e 2014/15

Safr	FV	Quadrado médio							
		NP	DIÂM	ALT	CI	NI	PROD	MSP	Brix
2013/2014	Bloco	0,068	0,031	0,004	0,337	0,250	495,39	116,70	0,145
	Espaçamento	0,165 ^{ns}	0,167 *	0,136 ^{ns}	0,503 ^{ns}	0,944 ^{ns}	52786,46 *	2640,95 *	4,833 ^{ns}
	Densidade	0,150 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,078 ^{ns}	1,030 ^{ns}	1,111 ^{ns}	689,87 ^{ns}	75,01 ^{ns}	4,555 ^{ns}
	E x D	0,059 ^{ns}	0,056 ^{ns}	0,057 ^{ns}	2,560 ^{ns}	0,425 ^{ns}	902,79 ^{ns}	70,67 ^{ns}	2,018 ^{ns}
	CV(%)	63,31	8,18	6,27	8,99	8,26	21,32	24,36	7,64
2014/2015	Bloco	0,211	0,003	0,006	0,437	1,895	142,11	2,91	0,009
	Espaçamento	0,089 ^{ns}	0,113 *	0,055 ^{ns}	0,909 ^{ns}	2,131 ^{ns}	7181,94 ^{ns}	74,23 *	0,162 ^{ns}
	Densidade	0,145 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,035 ^{ns}	2,020 ^{ns}	0,854 ^{ns}	692,72 ^{ns}	3,77 ^{ns}	0,046 ^{ns}
	E x D	0,103 *	0,019 ^{ns}	0,024 *	4,780 ^{ns}	1,317 ^{ns}	143,03 *	5,25 ^{ns}	0,336 ^{ns}
	CV(%)	46,65	7,63	2,98	5,84	7,76	13,87	23,56	1,72

FV = fonte de variação; CV(%) = coeficiente de variação. * significativo a 5% de probabilidade de erro e ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste de F.

A cultura se desenvolveu em condições de clima favorável (Figura 1) e sem prejuízos decorrentes do ataque de pragas e doenças que pudessem interferir no seu desenvolvimento nas duas safras estudadas.

A variável altura de planta não foi influenciada pelo espaçamento e densidade de plantas na safra de 2013/14. Os valores médios para altura de plantas foram de 2,42 m, houve variação entre 2,15 a 2,97 m. A altura média foi inferior ao registrado para a variedade (3,0 a 3,3 m em espaçamento 0,7 m), possivelmente devido à relação genótipo ambiente.

As condições climáticas favoráveis podem ter contribuído para reduzir a competição entre as plantas, não interferindo na altura entre os tratamentos. Plantas com altura elevada tendem a sofrer maior acamamento, que pode causar prejuízos na colheita. Albuquerque et al. (2011), trabalhando com diferentes arranjos de plantas nas variedades BRS 506 e BRS 507, relataram que a média da altura de plantas foi 2,16 m.

Na safra 2013/14 o número de perfilhos não foi influenciado pelo espaçamento e densidade de plantas variando entre 0 a 1,33 perfilhos por planta, sendo característica da variedade estudada o menor perfilhamento. De acordo com Magalhães et al. (2007), o perfilhamento é influenciado pelo grau de dominância apical, que é regulado por fatores

hormonais, ambientais e genéticos, sendo uma característica herdável e que pode ser modificada por fatores ambientais como temperatura do ar, fotoperíodo e umidade do solo.

Para as variáveis número de internódios e comprimento de internódios não houve influência dos tratamentos aplicados nas duas safras estudadas, com média de 21,6 cm e 24,4 cm de comprimento de internódio e 12 e 11,7 internódios, nas safras 2013/14 e 2014/15, respectivamente. Segundo a Embrapa (2010), a quantidade de nós está determinada pelos genes da maturação e por sua reação ao fotoperíodo e a temperatura. Já a distância dos entrenós varia segundo as combinações de 4 ou mais fatores genéticos e segundo o ambiente.

Para obtenção de maiores rendimentos de etanol, a produtividade da massa do caldo do sorgo sacarino deve conter altos teores de Brix. A variável tecnológica Brix, que são os sólidos solúveis totais presentes no caldo, não foi influenciada pelo espaçamento entre linhas e densidade de plantas de sorgo para os dois anos de estudo. Para a safra 2013/14 a média encontrada foi de 20,3 °Bx, variando entre 18,1 a 22,9 °Bx. Já para a safra 2014/15 foi observado média de 21,52 °Bx, com variação entre 20,9 a 22,9 °Bx.

Albuquerque et al. (2012) conduziram experimentos em três localidades em Minas Gerais e obtiveram média geral para o Brix de 18,28 °Bx, além disso constataram que com o aumento de 1 cm no espaçamento entre linhas, houve acréscimo de 0,011°Bx. Segundo trabalhos de Teixeira et al. (1999), o Brix do sorgo sacarino é fortemente influenciado pelo comprimento do dia e pela radiação global. Outros autores afirmam que o Brix pode ser influenciado pela adubação ou pela fertilidade do solo (KUMAR et al., 2008). Almodares e Hadi (2009), trabalhando com materiais de sorgo sacarino entre variedades, híbridos e linhagens, encontraram valores de °Bx que variaram de 14,32 a 23,85.

Para a variável diâmetro médio do colmo (Figura 2-A), no ano safra 2013/14 verificou-se que houve influência do espaçamento entre linhas, ajustando-se o modelo polinomial de segundo grau, com ponto de máximo diâmetro no espaçamento 0,65 m, ocorrendo redução no diâmetro a partir deste ponto. O diâmetro médio de colmo foi de 23,89 mm, com variação entre 19 a 28,2 mm.

Segundo May et al. (2012), o aumento da população de plantas pode resultar na redução do diâmetro de colmos, pois ocorre maior competição entre as plantas e estas tendem a ter maior crescimento em altura. Além disso, a redução do diâmetro de colmo se correlaciona positivamente com o acamamento e quebramento de plantas, pois plantas com menor diâmetro de colmo se tem menor resistência.

A massa seca de plantas (Figura 2-B) foi influenciada apenas pelo espaçamento entre linhas e não variou em relação à densidade de plantas, obtendo uma relação quadrática em relação ao espaçamento, ocorrendo maior produção de massa nos espaçamentos menores (0,25 m = 47,17 t ha⁻¹) e decaindo até o mínimo em 0,92 m entre linhas. O espaçamento menor resultou em maior produção de massa seca independente da densidade de plantas, demonstrando que a distribuição espacial das plantas pode influenciar a quantidade de biomassa produzida.

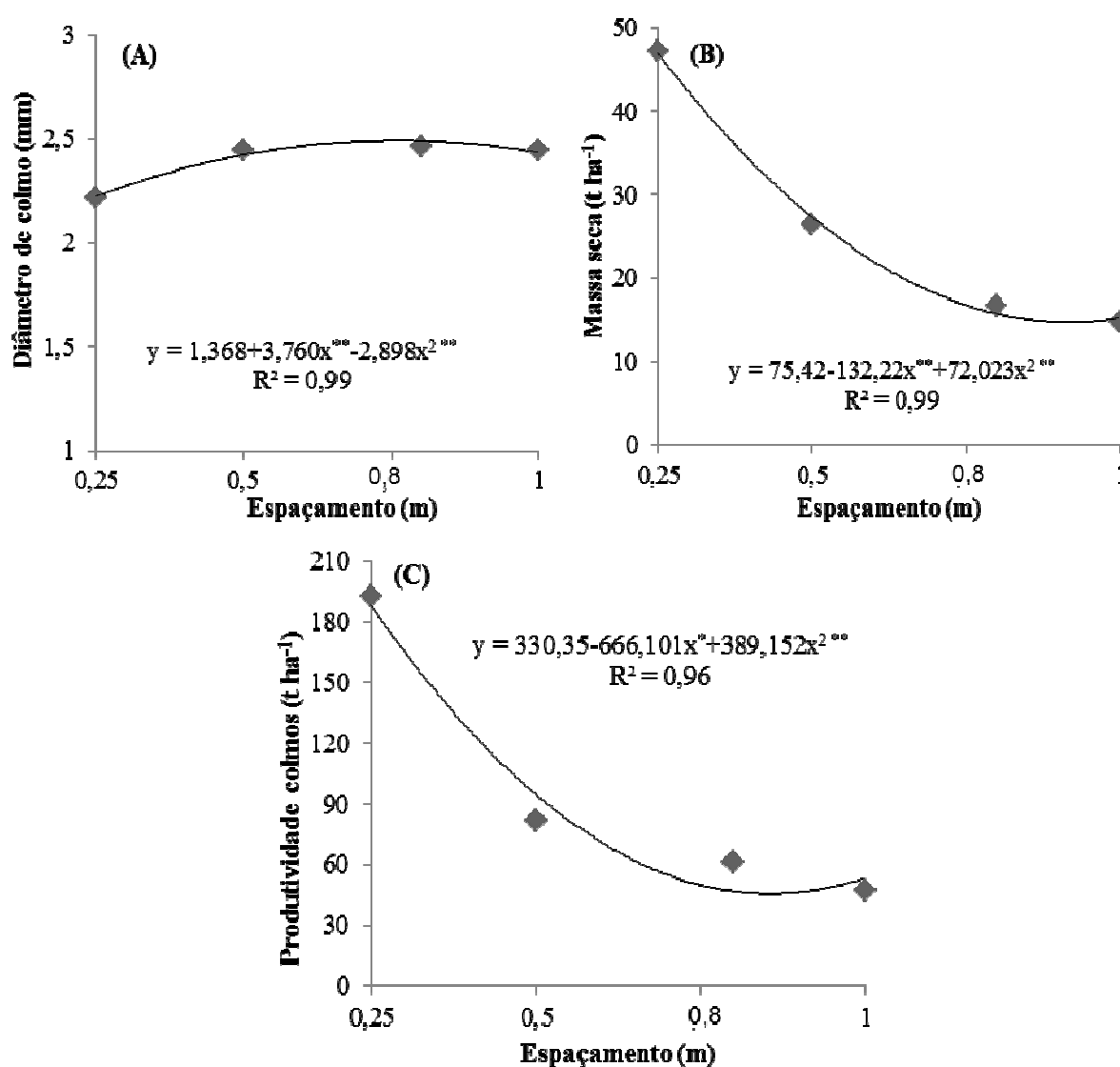


Figura 2 - Análise de regressão para diâmetro de colmo (A), massa seca de plantas (B) e produtividade de colmos (C) de sorgo sacarino em função de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas na safra 2013/2014. * significativo a 5% de probabilidade de erro. ** significativo a 1% de probabilidade de erro.

A produtividade média de colmos (Figura 2-C) obtida na safra 2013/14 foi de 92,67 t ha⁻¹, acima da produtividade esperada para a variedade BRS 506 que é de 50 a 60 t ha⁻¹ de biomassa. A variação da produtividade ficou entre 32,7 a 155,5 t ha⁻¹ entre as parcelas. Assim como para massa seca, a produtividade foi influenciada apenas pelo espaçamento entre linhas, apresentando relação quadrática, com ponto de mínima em 0,86 m entre linhas.

A produtividade foi maior nos espaçamentos menores, como ocorreu para massa seca e o espaçamento de 0,25 m resultou na melhor produtividade de colmos (192,25 t ha⁻¹), dentro das condições estudadas. Essa alta produtividade pode estar relacionada a diversos fatores, como o tipo de solo, as condições climáticas favoráveis (Figura 1-A), a adubação utilizada dentro do recomendado para alta produção, cuidados no manejo de doenças, insetos praga e plantas daninhas.

Na safra 2014/15 a variável altura de planta (Figura 3-A) foi influenciada pela interação espaçamento e densidade de plantas, nas densidades 75 mil pl ha⁻¹ onde se ajustou o modelo de regressão polinomial de segundo grau e 125 mil pl ha⁻¹, para o qual verificou-se efeito linear acompanhando o aumento do espaçamento. Os valores médios para altura de plantas foram de 2,42 m, houve variação entre 2,15 a 2,97 m. O aumento da densidade pode favorecer o crescimento em altura das plantas pela competição por luz, por sua vez a altura elevada provoca maior risco de acamamento, prejudicando a produtividade e as operações de colheita (MAY et al. 2012).

Para o diâmetro de colmo ocorreu uma relação linear positiva para o fator espaçamento entre linhas (Figura 3-B), independente da densidade de plantas adotadas. Este fato pode estar relacionado a que nos espaçamentos maiores, com menor densidade de plantas, o diâmetro do colmo tende a ser maior, devido à menor competição entre as plantas por luz, água e nutrientes, contrário ao que ocorre quando temos muitas plantas disputando o mesmo espaço.

O número de perfilhos foi influenciado pela interação espaçamento e densidade de plantas, para as densidades 50 e 125 mil pl ha⁻¹, onde verificou-se relação quadrática (Figura 3-C) com ponto de máxima em 0,65 m e 0,55 m, respectivamente.

Para massa seca de plantas houve influência do espaçamento entre linhas, apresentando uma relação linear negativa (Figura 3-D) em relação ao espaçamento. Os menores espaçamentos apresentaram maior produção de massa seca, variando entre 42,2 t ha⁻¹ e 18 t ha⁻¹, para os espaçamentos 0,25 e 1,0 m, respectivamente, e produção média de todos os tratamentos de 28,56 t ha⁻¹.

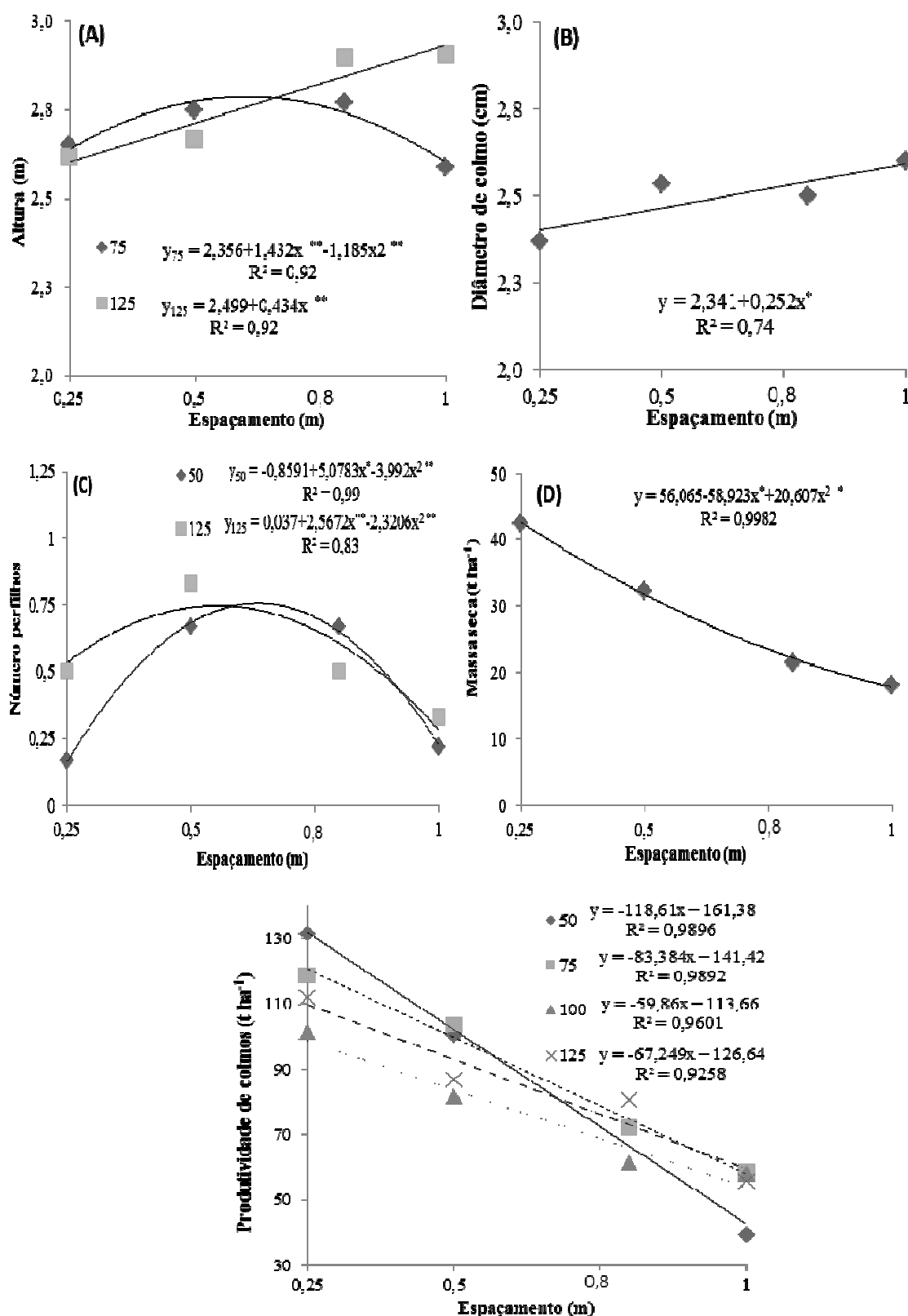


Figura 3 – Análise de regressão para altura de plantas (A), diâmetro de colmo (B), número de perfilhos (C), massa seca de plantas (D) e produtividade de colmos (E) de sorgo sacarino em função de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas na safra 2014/2015. * significativo a 5% de probabilidade de erro. ** significativo a 1% de probabilidade de erro.

A produtividade de colmos na safra 2014/15 foi influenciada pela interação espaçamento e densidade de plantas, em que as densidades 50, 75, 100 e 125 mil pl ha⁻¹ apresentaram relação linear negativa em relação ao espaçamento (Figura 3-E). A produtividade de colmos foi maior nos espaçamentos menores e decresceu linearmente para todas as densidades estudadas conforme aumenta do espaçamento. A produtividade de colmos influencia diretamente sobre a produção de etanol, assim maiores produtividades resultam em melhores rendimentos na indústria.

Esse comportamento demonstra a influência que a alteração do total de metros lineares cultivados por hectare causa na produtividade de colmos e a baixa capacidade de resposta que o sorgo sacarino apresenta para compensar o aumento do número de plantas na linha de cultivo. A produtividade média de colmos na safra 2014/15 foi de 83,32 t ha⁻¹, variando entre 41,6 e 142,7 t ha⁻¹.

A alta produtividade de colmos possivelmente ocorreu devido às melhores condições climáticas, como temperaturas médias mais elevadas e precipitação (Figura 1-B), resultando no desenvolvimento rápido das plantas, com consequente menor susceptibilidade à incidência de pragas e doenças foliares, resultando em plantas bem desenvolvidas, com maiores ganhos em variáveis quantitativas e qualitativas (FERNANDES et al., 2014).

2.4. CONCLUSÕES

1. Não houve influência do espaçamento e densidade de plantas para as variáveis agronômicas, altura de plantas e número de perfilhos (safra 13/14), número de internódios e comprimento de internódios (safra 14/15).
2. Nas safras 2013/14 e 2104/15 os menores espaçamentos resultaram em maior produtividade de colmos e massa seca de plantas, independente da densidade de plantas.
3. Para a variável tecnológica Brix não houve influência do espaçamento entre linhas e densidade de plantas.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, R. A. C.; GUIMARÃES, A. S.; OLIVEIRA, R. M.; JESUS SILVA, K. M. Sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e

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

ALBUQUERQUE, C. J. B.; PINHO, R. G. V.; RODRIGUES, J. A. SANTOS; BRANT, R. S.; MENDES, M. C. Espaçamento e densidade de semeadura para cultivares de sorgo grânifero no semi-árido. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 278-285, 2011.

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

BYE, P.; MEUNIER, A.; MUCHNIK, J. As inovações açucareiras: permanência e diversidade de paradigmas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 10, n. 3, p. 35-52, 1993.

BAUMHARDT, R.L., HOWELL, T.A. Seeding Practices, Cultivar maturity, and irrigation effects on simulated grain sorghum yield. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 462-470, 2006.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. DOS; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I.; FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P. DE; POTTER, O.; CURCIO, G. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: escala 1:250.000: legenda. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. 1 CD-ROM

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Sorgo Forrageiro BRS 506**. 2014. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/produtos/produtos/brs506.html>>. Acesso em: 02 Set. 2014.

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

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

LIPINSKI, E. S.; KRESOVICH, S. Sugar crops as a solar energy converters. **Experimentia**, v. 38, n. 1, p. 13-17, 1992.

EMBRAPA. **Sistemas de Produção**: Cultivo do Sorgo. 6^a ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; PARENTONI, S. N. Avaliação das modificações morfológicas radiculares durante os ciclos de seleção do milho

Saracura tolerante a hipoxia. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento N. 15. Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa, 2007. 23 p.

MEIRA, J. L.; AZEVEDO, J. T.; SILVA, J.; SCHAFFERT, R. E.; MURAD, A. M.; CARVALHO, L. J. C. B. **Espaçamento e densidade do sorgo granífero**. In: PROJETO Sorgo: relatório anual 72/73/74/75. Belo Horizonte: EPAMIG, 1977. p. 105-121.

MAY, A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; SILVA, A. F.; PEREIRA FILHO, I. A. Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa: **Manejo e tratos culturais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 120 p.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; NÖRNBERG, J. L.; OLIBONI, R.; PELLEGRINI, L. G.; FARIA, M. V.; OLIVEIRA, M. R. Efeito associativo do espaçamento entre linhas de plantio, densidade de plantas e idade sobre o desempenho vegetativo e qualitativo do sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, n. 2, p. 165-181, 2008.

PRASAD, S.; SINGH, A.; JAIN, N.; JOSHI, H. C. Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. **Energy and Fuels**, v. 21, n. 1, p. 2415-2420, 2007.

PURCINO, A. Á. C. Sorgo sacarino: tecnologia agronômica e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 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, p. 221-229, 1997.

TSUNECHIRO, A.; MARIA MARIANO, R.; MARTINS, V. A. Produção e preços de sorgo no estado de São Paulo, 1991-2001. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, n. 1, p. 15-24, 2002.

3. Características agronômicas de sorgo sacarino segunda safra em diferentes densidades de plantas e espaçamento entre linhas

Resumo: O sorgo sacarino tem grande potencial energético com alto potencial para produção de etanol no Brasil e a distribuição espacial das plantas é essencial para maximizar o desempenho da cultura, sem custo adicional, apresentando-se como uma alternativa para a segunda safra. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo e tecnológico de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas. O experimento foi instalado em Marechal Cândido Rondon-PR, no mês de março de 2013 e de 2014, em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial (4x4), com quatro espaçamentos (0,25; 0,5; 0,8 e 1,0 m entre linhas) e quatro densidades de plantas (50; 75; 100 e 125 mil plantas ha⁻¹), com três repetições. Os resultados demonstraram que as variáveis número de perfilhos, número internódios, comprimento de internódios, Brix, POL (teor de sacarose aparente) e ATR (açúcares totais recuperáveis) em 2013 e diâmetro do colmo, número internódios e comprimento de internódios em 2014 não houve influência do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas. A massa seca e a produtividade em 2013 foram influenciadas pelo espaçamento entre linhas. Altura, produtividade, Brix, POL e ATR foram influenciadas pela interação espaçamento e densidade e massa seca pelo espaçamento na safra 2014. Menores espaçamentos resultaram em maiores produtividades de colmos da cultura.

Termos de indexação: Etanol. Sacarose. *Sorghum bicolor*.

Abstract: Sweet sorghum has great energy potential and thus is one of the main options for ethanol production in Brazil. In order to maximize this crop's performance with no additional cost, it is of great importance to study the spatial distribution of plants, so that sweet sorghum can be an alternative for the second crop. The aim of this study was to assess the agronomic and technological performance of sweet sorghum at different row spacings and plant densities. The experiment was conducted in Marechal Candido Rondon-PR, in March 2013 and 2014. The experimental design consisted of randomized blocks in a 4x4 factorial scheme, with four spacings (0.25, 0.5, 0.8 and 1.0 m between rows) and four plant densities (50, 75, 100 and 125 thousand plants ha⁻¹). Results showed that the number of tillers, number of

internodes, Brix content, percentage of saccharose and total sugar recoverable in 2013, and stem diameter, as well as number and length of internodes in 2014 did not affect row spacing and plant density. Dry mass and productivity in 2013 were influenced by the row spacing. Plant height, productivity, Brix content, percentage of saccharose and total sugar recoverable were influenced by the interaction spacing/density, whereas the dry mass was affected by row spacing in 2014. Smaller spacings resulted in higher production of stems.

Index terms: Ethanol. Eioenergy. *Sorghum bicolor*.

3.1. INTRODUÇÃO

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é um cereal pertencente à família das poaceas, originário do continente africano e de grande importância econômica e social (TSUNECHIRO, 2002). Possui semelhança com a cana-de-açúcar pelo armazenamento de açúcar no colmo, além de propiciar fornecimento de bagaço que pode ser utilizado na indústria ou alimentação animal (SOUZA et al., 2005).

O sorgo possui alto potencial de rendimento em biomassa, até 80 t ha⁻¹, que podem produzir até 6.000 L ha⁻¹ e assim como a cana, produz bagaço que pode ser utilizado como fonte de energia através da queima para geração de vapor ou na alimentação animal (DURAES, 2011).

Porém, diferente da cana, o sorgo pode ser cultivado por sementes e apresenta um ciclo vegetativo bem mais curto, de 120 a 130 dias. (SOUZA et al., 2005). A cultura possui tolerância a períodos de estiagem durante seu ciclo vital devido a mecanismo eficientes de aproveitamento da água, através do sistema radicular distribuído e profundo (CAMACHO et al., 2002).

Sendo o sorgo uma planta altamente eficiente na utilização dos recurso ambientais, as práticas culturais são fundamentais para permitir que a planta possa desenvolver todo seu potencial produtivo. Dentre estas práticas culturais para obter maior produção das espécies vegetais, o arranjo de plantas é importante por favorecer o controle de invasoras e maior eficiência no aproveitamento dos recursos do ambiente (ALBUQUERQUE et al., 2012).

Segundo Sangoi (2000), plantas espaçadas de forma equidistante competem minimamente por nutrientes, luz e outros fatores. De acordo com Neumann et al. (2008) de maneira geral, há tendência de aumento de produtividade da cultura em condições de

espaçamento reduzido entre linhas, associado a maiores densidades populacionais, por mostrar vantagens potenciais quanto ao aumento na eficiência de utilização de luz solar, água, nutrientes e melhor controle de plantas daninhas.

Meira et al. (1977), avaliando o sorgo granífero semeado em diferentes arranjos de plantas, obtiveram maiores incrementos da produtividade de grãos com menores espaçamentos e maiores densidades. Já Baumhardt e Howell (2006) não constataram influência da população de plantas na produtividade de grãos em área de sequeiro e nos menores espaçamentos também foi aumentada a produtividade de grãos.

Albuquerque et al. (2011), trabalhando com diferentes espaçamentos entre linhas (0,5 m, 0,7 m e 0,9 m) e densidades de semeadura (100 mil, 140 mil e 180 mil plantas ha⁻¹) e diferentes cultivares para sorgo granífero, na região norte de Minas Gerais, observou que a viabilidade do aumento da densidade de semeadura é dependente da cultivar, do espaçamento e das condições climáticas prevalentes no ano agrícola considerado.

Emygdio et al. (2011), avaliando o cultivar de sorgo sacarino BR 506 em Pelotas/RS, observaram maior produção de colmos quando utilizado o espaçamento entrelinhas de 50 cm, independente da densidade de plantas. No espaçamento de 0,5 m a produtividade média de colmos foi de 70 t ha⁻¹, reduzindo para 48 t ha⁻¹ no espaçamento 0,7 m.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características agrônômicas e tecnológicas do sorgo sacarino cultivado na segunda safra sob diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no dia 15 de março de 2013 e 25 de março 2014, na Estação Experimental Prof. Dr. Antônio Carlos dos Santos Pessoa da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizada município de Marechal Cândido Rondon-PR, com coordenadas de latitude: 24°28'29.33"S, longitude: 54° 0'42.90"O e altitude de 370 m.

O clima da região, conforme o sistema de classificação climática de Köppen, caracteriza-se como Cfa - Clima subtropical, temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. A precipitação anual está entre 1800 a 2000 mm, com temperatura média entre 21 a 22°C (CAVIGLIONE et al., 2000). Os dados climáticos

referentes ao período dos experimentos estão relacionados na Figura 1.

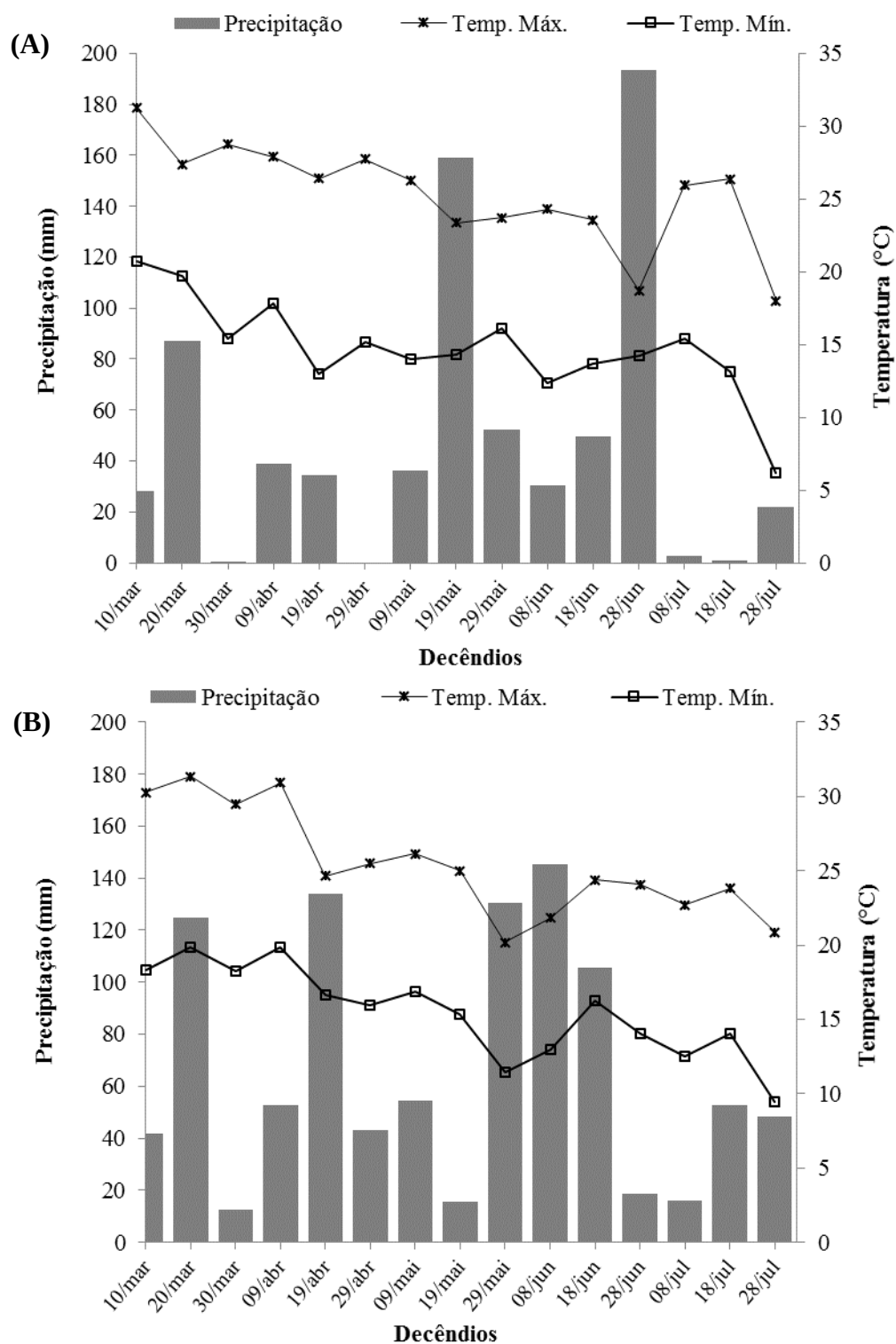


Figura 1 - Dados meteorológicos decendiais entre março a julho de 2013 (A) e março a julho de 2014 (B). Precipitação (mm), médias de temperatura máxima (Temp. Máx.) e temperatura mínima (Temp. Mín.). Fonte: Estação climatológica UNEMET/Marechal Candido Rondon/PR.

De acordo com mapa de solos do estado do Paraná (Bhering, 2007), o solo da região é classificado como LATOSSOLO VERMELHO eutroférico, com as seguintes características químicas para o ano de 2013: pH (CaCl₂) = 4,6; MO = 23,24 g.dm⁻³; P = 25,41 mg.dm⁻³; Ca²⁺ = 4,74 cmolc.dm⁻³; Mg²⁺ = 1,36 cmolc.dm⁻³; K⁺ = 0,41 cmolc.dm⁻³; Al³⁺ = 0,4 cmolc.dm⁻³; H+Al = 7,52 cmolc.dm⁻³; SB = 6,51 cmolc.dm⁻³; CTC = 14,03 cmolc.dm⁻³ e V% = 46,40% e para o ano de 2014: pH (CaCl₂) = 4,8; MO = 25,27 g.dm⁻³; P = 27,32 mg.dm⁻³; Ca²⁺ = 4,23 cmolc.dm⁻³; Mg²⁺ = 1,54 cmolc.dm⁻³; K⁺ = 0,38 cmolc.dm⁻³; Al³⁺ = 0,2 cmolc.dm⁻³; H+Al = 6,10 cmolc.dm⁻³; SB = 6,15 cmolc.dm⁻³; CTC = 12,25 cmolc.dm⁻³ e V% = 50,20%.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados (D.B.C.), com três repetições, em esquema fatorial (4x4), composto por quatro espaçamentos entre linhas (0,25; 0,5; 0,8 e 1,0 m) e quatro densidades de plantas (50; 75; 100 e 125 mil plantas ha⁻¹). Cada unidade experimental era composta por 5 linhas de 5 m de comprimento e a área útil, as duas linhas centrais, eliminando-se 0,5 m em cada extremidade.

O experimento foi implantado no sistema de semeadura direta, realizando a correção da acidez com aplicação de calcário calcítico antes da semeadura, segundo recomendação para a cultura do sorgo (EMBRAPA, 2012). A adubação para a cultura foi realizada com base na produção de matéria seca pela cultura, níveis disponíveis de nutrientes no solo e quantidade de nutrientes extraída pela cultura. No ano de 2013 foram aplicados 450 kg ha⁻¹ de NPK na semeadura e 150 kg ha⁻¹ de N e 34 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura aos 35 dias após a emergência (DAE). Já para o ano de 2014 foram aplicados 460 kg ha⁻¹ de NPK (10-15-15) na base e 150 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura aos 35 DAE.

A cultivar de sorgo utilizada no experimento foi a BRS 506, que apresenta insensibilidade ao fotoperiodismo, porte alto, ciclo de 120 a 130 dias, colmos com alto teor de açúcares e produção de massa seca entre 50 a 60 t ha⁻¹. A semeadura foi realizada manualmente abrindo sulcos nos espaçamentos determinados. Após a emergência foi realizado desbaste para que cada tratamento contivesse o número de plantas nas densidades pretendidas.

O controle de plantas daninhas foi realizado através de capina manual e foram efetuadas aplicações de inseticida (Clorpirifós - 0,7 L ha⁻¹ do produto comercial) para controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda* (Smith)) e fungicida (Azoxistrobina + Ciproconazol - 0,4 L ha⁻¹ do produto comercial) para controle preventivo de doenças no período em que as plantas apresentavam 7 folhas.

Aos 110 DAE foram realizadas as avaliações agronômicas e tecnológicas, no momento em que as plantas encontravam-se em estágio de maturação fisiológica, ponto no qual as plantas estão com maior concentração de açúcar no colmo.

Foram avaliadas as características agronômicas do número de plantas por hectare através da contagem do número de plantas em 2 m lineares em cada parcela. Em seguida foram separadas 10 plantas por parcela em que foram mensuradas a altura de plantas, considerando a distância entre a base até o último nó, diâmetro basal do colmo no segundo entrenó, número de entre nós e comprimento médio de entre nós.

Para o número de perfilhos foram avaliadas 10 plantas por parcela antes do corte. Para avaliação da massa seca foram utilizadas três plantas inteiras por parcelas, colocando o material fresco para secar em estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até peso constante, posteriormente foi realizada a conversão para toneladas por hectare de matéria seca.

Na determinação da produtividade (TCH – toneladas de colmos por hectare) foi utilizada como área útil 2 m lineares da linha central de cada parcela, cortando-se as plantas rente ao solo, separado folhas e panícula e pesado para obtenção da massa fresca de colmos para posterior conversão em TCH.

Para avaliação das características tecnológicas do sorgo sacarino, o material colhido para mensuração da massa fresca foi amarrado em feixes, identificado e enviado para o laboratório da Usina Usaçúcar de Nova Londrina/PR, onde foi analisado o Brix (sólidos solúveis presentes no caldo), o ATR (açúcar total recuperável) e o POL (teor de sacarose aparente) conforme manual do CONSECANA (2006).

Os dados foram submetidos a análise da variância através do teste F a 5% de probabilidade, e quando houve diferença estatística significativa os dados foram ajustados através de equações de regressão, utilizando o programa estatístico SISVAR 5.3 (Ferreira, 2011). Como foram dois anos de experimento sugere-se a aplicação da análise conjunta, no entanto, não foi aplicado neste caso devido à relação de quadrados médios residuais ser maior que sete, conforme recomendação de Pimentel-Gomes (1990).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância (Tabela 1), verificou-se que não houve diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) para as variáveis altura de planta, diâmetro do colmo, número perfilhos, número internódios, comprimento de internódios, Brix, ATR e POL

para a segunda safra 2013 e diâmetro do colmo, número internódios e comprimento de internódios para segunda safra 2014.

De acordo com a análise de variância, houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) do espaçamento sobre a produção de matéria seca de plantas e produtividade de colmos para a segunda safra 2013 e sobre a produção de matéria seca de plantas e número de perfilhos para a segunda safra 2014. Para altura, produtividade de colmos, Brix, ATR e POL para safra de segunda safra 2014 verificou-se efeito significativo ($p \leq 0,05$) da interação entre espaçamento entre linhas e densidade de plantas.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para altura (Alt.), diâmetro de colmo (Diâm.), matéria seca de plantas (MSP), produtividade (Prod.), número perfilhos (NP), número internódios (NI), comprimento de internódios (CI), Brix, ATR e POL de sorgo sacarino cultivado em diferentes espaçamentos e densidades de plantas para sorgo segunda safra. Marechal Candido Rondon/PR, 2013 e 2014.

Ano	FV	Quadrado médio									
		Alt.	Diâm.	MSP	Prod.	NP	NI	CI	Brix	ATR	POL
2013	Bloco	0,102	0,171	250,878	632,95	0,175	0,447	10,670	0,150	11,214	0,157
	Espaçamento	0,026 ^{ns}	0,008 ^{ns}	1431,25*	3498,04*	0,098 ^{ns}	0,751 ^{ns}	7,719 ^{ns}	0,405 ^{ns}	23,528 ^{ns}	0,317 ^{ns}
	Densidade	0,013 ^{ns}	0,067 ^{ns}	70,723 ^{ns}	5,52 ^{ns}	0,138 ^{ns}	0,327 ^{ns}	4,784 ^{ns}	0,518 ^{ns}	22,639 ^{ns}	0,295 ^{ns}
	E x D	0,007 ^{ns}	0,055 ^{ns}	40,788 ^{ns}	21,14 ^{ns}	0,071 ^{ns}	0,268 ^{ns}	2,352 ^{ns}	0,363 ^{ns}	33,044 ^{ns}	0,476 ^{ns}
	CV(%)	9,24	11,72	38,9	27,41	35,3	9,9	7,67	5,84	8,22	10,19
2014	Bloco	0,0019	0,0108	59,392	25,836	0,009	0,146	3,774	0,011	0,0011	0,001
	Espaçamento	0,0078 ^{ns}	0,0147 ^{ns}	929,76*	3157,98 ^{ns}	0,473*	0,206 ^{ns}	2,006 ^{ns}	0,800 ^{ns}	40,564 ^{ns}	0,791 ^{ns}
	Densidade	0,0038 ^{ns}	0,0104 ^{ns}	1,757 ^{ns}	34,065 ^{ns}	0,2692 ^{ns}	0,041 ^{ns}	1,494 ^{ns}	0,477 ^{ns}	27,454 ^{ns}	0,610 ^{ns}
	E x D	0,0201*	0,0153 ^{ns}	24,682 ^{ns}	25,488*	0,0732 ^{ns}	0,187 ^{ns}	0,871 ^{ns}	0,513**	21,841**	0,448**
	CV(%)	7,1	7,9	27,8	11,9	27,5	8,22	6,86	2,59	3,76	5,47

FV = fonte de variação; CV(%) = coeficiente de variação. * significativo a 5% de probabilidade de erro e ** significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste de F.

Os valores médios encontrados para as características agronômicas para segunda safra de 2013 foram de 1,45 m para altura de plantas, 1,74 cm para diâmetro do colmo, 0,98 perfilhos por planta e 7,9 internódios e comprimento médio de internódio de 20,19 cm. Para as variáveis tecnológicas o Brix médio foi de 12,63 °Bx, o valor médio de POL foi de 8,94% e o ATR de 91,92 kg de açúcar. Para o ano de 2014 os valores médios para altura de planta foram de 1,04 m, para diâmetro de colmo de 1,26 cm.

Ainda para o ano de 2014, as plantas apresentaram em média 6,37 internódios e

comprimento médio de 14,36 cm. Os valores médios ficaram abaixo do potencial da cultura, principalmente pela semeadura no final de março que ocasionou redução no desenvolvimento das plantas, devido à redução do fotoperíodo e menor temperatura durante os meses de abril, maio e junho (Figura 1).

A produção de massa seca de plantas variou em função do espaçamento entre linhas, verificando um ajuste polinomial de segundo grau para equação de regressão (Figura 2-A), com variação de 35,92; 18,68; 15,85 e 10,74 t ha⁻¹ para os espaçamentos 0,25; 0,5; 0,8 e 1,0 m, respectivamente. Foi verificado ponto de mínima produção com 0,94 m de espaçamento entre linhas, observando que menores espaçamentos resultaram em maior produtividade.

Com relação à produtividade de colmos na segunda safra 2013, verificou-se um ajuste polinomial de segundo grau para a equação de regressão (Figura 2-B). Foi verificado ponto de mínima produtividade de colmos com 0,89 m de espaçamento entre linhas, obtendo produtividade estimada de 13,2 t ha⁻¹, observando que menores espaçamentos resultaram em maior produtividade.

Pode se observar que as melhores produtividades foram obtidas com menor espaçamento entre linhas. A produtividade média no espaçamento 0,25 m foi de 50,8 t ha⁻¹, para 0,5 m de 22 t ha⁻¹, para 0,8 m de 18,25 t ha⁻¹ e para 1,0 m de 12,21 t ha⁻¹. Os valores ficaram abaixo do potencial esperado da cultura (50 a 60 t ha⁻¹), mas deve ser considerado que a semeadura foi realizada no mês de março, período em que inicia a ocorrência de temperaturas amenas e menor incidência solar, reduzindo o desenvolvimento da cultura.

Essa menor produtividade também pode estar relacionada com o número de plantas por hectare, considerando os espaçamentos entre linhas de 0,25; 0,5; 0,8 e 1,0 m, o número final de plantas observado foi de 204,1; 112,66; 99,16 e 61,33 mil plantas por ha⁻¹, respectivamente. Deste modo era esperado que os espaçamentos com maior densidade de plantas obtivessem as maiores produtividades.

Almodares e Hadi (2009) obtiveram rendimentos de massa verde na amplitude de (27,9 a 124 t ha⁻¹) encontrada por em 36 materiais de sorgo sacarino. Albuquerque et al. (2012), trabalhando com diferentes espaçamentos na produção de matéria verde para a cultivar BRS 506, observaram que o aumento da população e menores espaçamentos proporcionaram maior produtividade de massa fresca.

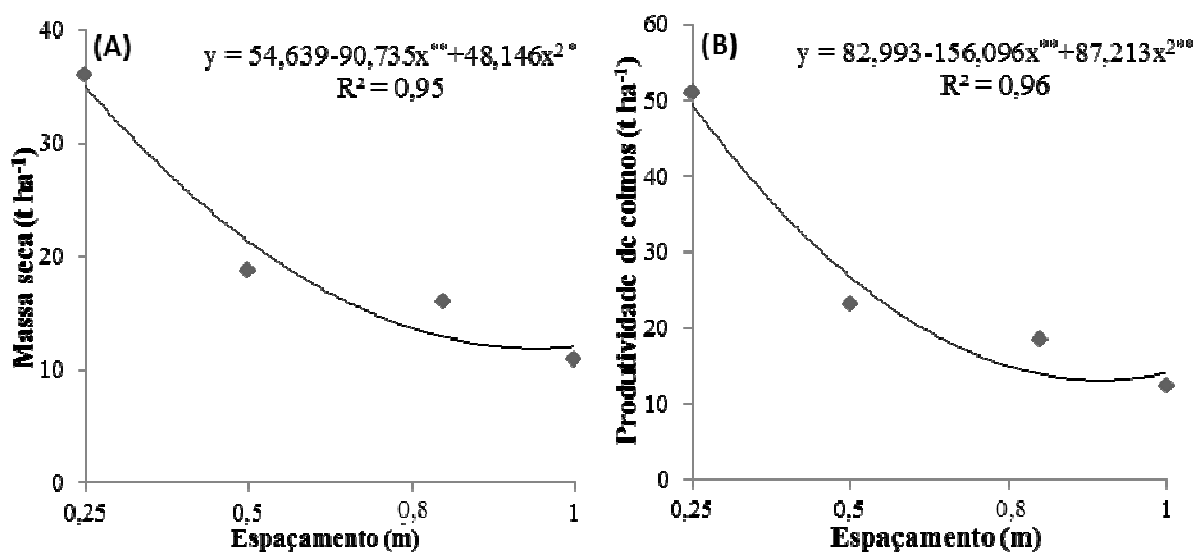


Figura 2 - Análise de regressão para massa seca de plantas (A) e produtividade de colmos (B) de sorgo sacarino em função de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas na segunda safra 2013. * significativo a 5% de probabilidade de erro. ** significativo a 1% de probabilidade de erro.

Na safra 2014, para altura de planta, houve influência da interação entre espaçamento entre linhas e da densidade de 75 mil plantas por hectare, sendo verificado um ajuste polinomial de segundo grau para a equação de regressão (Figura 3-A). Para massa seca de plantas houve influência apenas do espaçamento e o modelo de regressão polinomial do segundo grau foi o que melhor se ajustou ao dados (Figura 3-B), com ponto de mínima em 0,91 m de espaçamento entre linhas. A massa seca variou entre 27,04; 14,68; 8,74 e 8,01 para os espaçamentos de 0,25; 0,5; 0,8 e 1,0 m, respectivamente.

Para produtividade de colmos (Figura 3-C) verificou-se efeito da interação entre espaçamento e densidade de plantas e desdobrando a regressão, observou-se diferença estatística significativa para as densidades 50; 75; 100 e 125 mil plantas ha⁻¹, com pontos de mínima de 0,84 m, 0,87 m, 0,82 m e 0,79 m entre linhas, respectivamente. A produtividade de colmos variou entre 9 e 51 t ha⁻¹, decrescendo à medida em que se aumentava o espaçamento entre linhas e reduzia a densidade de plantas. Nos espaçamentos menores as plantas ficam melhor distribuídas espacialmente, resultando em menor competição pelos fatores ambientais, resultando em maior produtividade.

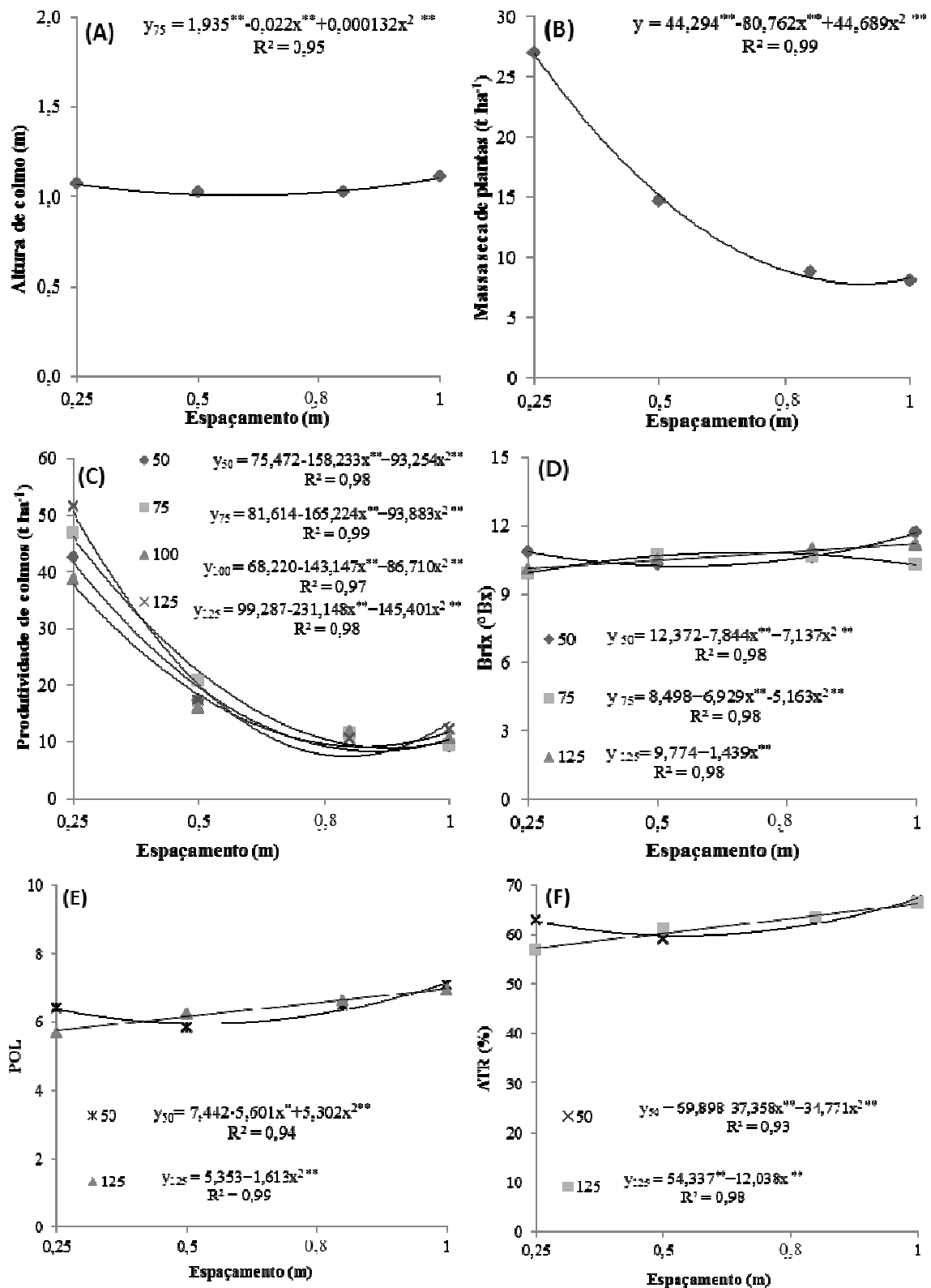


Figura 3 - Análise de regressão para altura de colmo (A), massa seca de plantas (B), produtividade de colmos (C), Brix (D), POL (E) e ATR (F) de sorgo sacarino em função de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas na segunda safra 2014. * significativo a 5% de probabilidade de erro. ** significativo a 1% de probabilidade de erro.

A variável tecnológica Brix (Figura 3-D) apresentou efeito da interação entre espaçamento e densidade de plantas e desdobrando a regressão, observou-se diferença estatística significativa para as densidades de plantas para 50 e 75 mil plantas ha^{-1} , sendo o modelo que melhor se ajustou foi o polinomial de segundo grau, com pontos de mínima de 0,55 m para 50 mil pl ha^{-1} e máxima de 0,67 m para 75 mil pl ha^{-1} de espaçamento entre linhas. Já para a densidade de 125 mil pl ha^{-1} , se ajustou o modelo de regressão linear. Para a densidade de 100 mil pl ha^{-1} não foi possível o ajuste de regressão.

Para a variável tecnológica POL (Figura 3-E) também houve efeito da interação espaçamento e densidade, e o desdobramento demonstrou efeito quadrático para a densidade 50 mil pl ha^{-1} , com ponto de mínima em 0,53 m de espaçamento e linear para a densidade 125 mil pl ha^{-1} .

Com relação à ATR (Figura 3-F), verificou-se efeito da interação espaçamento e densidade e desdobrando a regressão, observou-se efeito quadrático para a densidade de 50 mil pl ha^{-1} com ponto de mínima em 0,53 m de espaçamento e linear para a densidade 125 mil pl ha^{-1} . O valor médio para ART foi 61,69 kg.

Em relação à densidade de semeadura e espaçamento entrelinhas (arranjo de plantio), estudos preliminares realizados na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas/MG, demonstraram que a elevação no número de plantas por hectare, quando acima de 120.000 plantas ha^{-1} , não influenciou na produtividade total de colmos. Contudo, a produção de biomassa verde foi influenciada pela redução do espaçamento entrelinhas, ou seja, maiores produções de biomassa foram obtidas nos menores espaçamentos utilizados (EMBRAPA, 2012).

Apesar de a redução do espaçamento proporcionar maior produção de massa fresca, o diâmetro do colmo das plantas pode se reduzir, ocasionando altas perdas na colheita (risco de perda de toletes na exaustão da máquina), pois as colhedoras utilizadas foram desenvolvidas para a colheita de colmos de cana, que são mais pesados e apresentam maior diâmetro.

A utilização de determinado espaçamento a campo também deve levar em consideração o parque de máquinas da propriedade, pois em alguns casos, como nas usinas de cana onde a adaptação da semeadura é realizada de acordo com a máquina de colheita.

3.4. CONCLUSÕES

1. A variação no espaçamento entre linhas e densidade de plantas não influenciou as variáveis agronômicas altura de planta, diâmetro do colmo, número perfilhos, número internódios, comprimento de internódios para segunda safra 2013 e diâmetro do colmo, número internódios e comprimento de internódios para segunda safra 2014.

2. Espaçamentos entre linhas menores resultaram em maior produção de massa seca de plantas e maior produtividade de colmos para o ano de 2013 e 2014, dentro das condições estudadas.

3. As variáveis tecnológicas não foram influenciadas pelo espaçamento entre linhas e densidade de plantas no ano de 2013, ao contrário da segunda safra 2014, onde os maiores espaçamentos obtiveram valor superior para Brix, POL e ATR.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; PINHO, R. G. V.; RODRIGUES, J. A. SANTOS; BRANT, R. S.; MENDES, M. C. Espaçamento e densidade de semeadura para cultivares de sorgo granífero no semi-árido. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 278-285, 2011.

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

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

BAUMHARDT, R.L., HOWELL, T.A. Seeding Practices, Cultivar maturity, and irrigation effects on simulated grain sorghum yield. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 462-470, 2006.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. DOS; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I.; FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P.; POTTER, O.; CURCIO, G. **Mapa de solos do Estado do Paraná: escala 1:250.000: legenda**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

CAMACHO, R.; MALAVOLTA, E.; GUEIREIRO-ALVES, J.; CAMACHO, T. Vegetative growth of grain sorghum in response to phosphorus nutrition. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 4. p. 771-776, 2002.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. 1 CD-ROM

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

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

EMBRAPA. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol**: Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 120 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

LIPINSKI, E. S.; KRESOVICH, S. Sugar crops as a solar energy converters. **Experimentia**, v. 38, p. 13-17, 1992.

MEIRA, J. L.; AZEVEDO, J. T.; SILVA, J.; SCHAFFERT, R. E.; MURAD, A. M.; CARVALHO, L. J. C. B. **Espaçamento e densidade do sorgo granífero**. In: PROJETO Sorgo: relatório anual 72/73/74/75. Belo Horizonte: EPAMIG, 1977. p. 105-121.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; NÖRNBERG, J. L.; OLIBONI, R.; PELLEGRINI, L. G.; FARIA, M. V.; OLIVEIRA, M. R. Efeito associativo do espaçamento entre linhas de plantio, densidade de plantas e idade sobre o desempenho vegetativo e qualitativo do sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, n. 2, p. 165-181, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009. 451 p.

DURAES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em revista**, v. 2, n. 3, p. 2-3, 2011.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: An important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 159 - 168, 2001.

SOUZA, C. C. de; DANTAS, J. P.; SILVA, S. de M.; SOUZA, V. C. de; ALMEIDA, F. A. de; SILVA, L. E. Produtividade do Sorgo granífero cv. sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 512-517, 2005.

TSUNECHIRO, A.; MARIA MARIANO, R.; MARTINS, V. A. Produção e preços de sorgo no estado de São Paulo, 1991-2001. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, n. 1, p. 15-24, 2002.

4. CONCLUSÕES GERAIS

Não houve influência do espaçamento e densidade de plantas para as variáveis agronômicas, altura de plantas e número de perfilhos (safra 13/14), número de internódios e comprimento de internódios (safra 14/15).

Na safra 2013/14 os menores espaçamentos resultaram em maior produtividade de colmos e massa seca de plantas, independente da densidade de plantas. Na safra 2014/15 os menores espaçamentos resultaram em maior produtividade de colmos e massa seca de plantas e menor altura de plantas.

Para a variável tecnológica Brix, não houve influência do espaçamento entre linhas e densidade de plantas nas safras normais de 2013/14 e 2014/15.

Para segunda safra, a variação no espaçamento entre linhas e densidade de plantas não influenciou as variáveis agronômicas altura de planta, diâmetro do colmo, número perfilhos, número internódios, comprimento de internódios para segunda safra 2013 e diâmetro do colmo, número internódios e comprimento de internódios para segunda safra 2014.

Espaçamentos entre linhas menores resultaram em maior produção de massa seca de plantas e maior produtividade de colmos para o ano de 2013 e 2014, dentro das condições estudadas.

As variáveis tecnológicas não foram influenciadas pelo espaçamento entre linhas e densidade de plantas no ano de 2013, ao contrário da segunda safra 2014, onde os maiores espaçamentos obtiveram valor ligeiramente superior para Brix, POL e ATR.