



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: FITOTECNIA**

**TATIANA MARIA DA SILVA**

**CULTIVO DE SORGO SACARINO NO SEMIÁRIDO: PRODUÇÃO, QUALIDADE  
DE FITOMASSA, ETANOL E SEMENTES EM FUNÇÃO DA VARIEDADE E  
ARRANJO ESPACIAL**

**FORTALEZA**

**2018**

TATIANA MARIA DA SILVA

CULTIVO DE SORGO SACARINO NO SEMIÁRIDO: PRODUÇÃO, QUALIDADE DE  
FITOMASSA, ETANOL E SEMENTES EM FUNÇÃO DA VARIEDADE E ARRANJO  
ESPACIAL

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em  
Agronomia/Fitotecnia do Departamento de  
Ciências Agrárias da Universidade Federal do  
Ceará, como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Doutora em Agronomia. Área de  
concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Bosco de  
Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Lamartine Soares  
Cardoso Oliveira

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S584c Silva, Tatiana Maria da.  
Cultivo de sorgo sacarino no semiárido: produção, qualidade de fitomassa, etanol e sementes em função da variedade e arranjo espacial / Tatiana Maria da Silva. – 2018.  
106 f. : il.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Alexandre Bosco de Oliveira.  
Coorientação: Prof. Dr. Lamartine Soares Cardoso de Oliveira.
1. Sorghum bicolor. 2. Espaçamento. 3. Potencial agrônomo. 4. Biocombustíveis. 5. Qualidade de sementes. I. Título.

CDD 630

---

TATIANA MARIA DA SILVA

CULTIVO DE SORGO SACARINO NO SEMIÁRIDO: PRODUÇÃO, QUALIDADE DE  
FITOMASSA, ETANOL E SEMENTES EM FUNÇÃO DA VARIEDADE E ARRANJO  
ESPACIAL

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em  
Agronomia/Fitotecnia do Departamento de  
Ciências Agrárias da Universidade Federal do  
Ceará, como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Doutora em Agronomia. Área de  
concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Bosco de  
Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Lamartine Soares  
Cardoso Oliveira

Aprovada em: 17/07/2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Alexandre Bosco de Oliveira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Lamartine Soares Cardoso Oliveira (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Rosilene Oliveira Mesquita  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Bruno França da Trindade Lessa  
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)

---

Prof. Dr. Ciro de Miranda Pinto  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus.

A minha mãe, **Rosana Maria de Sousa**, ao meu esposo **Everton Diogo de Farias Firmino**, aos meus irmãos **Tacio Felipe da Silva** e **Maria Taciana da Silva**. E aos meus sobrinhos **Maria Cecília** e **Davi Luis**, pelo apoio incondicional.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me orientar e dar força para ir em frente nessa caminhada nos momentos difíceis, por me ensinar a superar os obstáculos e pela presença constante na minha vida e a Nossa Senhora das Graças pela intercessão.

A Universidade Federal do Ceará, em especial ao Departamento de Fitotecnia pela oportunidade concedida. Aos professores do programa de pós-graduação pela contribuição na minha formação profissional.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, pela concessão da bolsa de pós-graduação.

Aos professores Alexandre Bosco de Oliveira e Lamartine Soares Cardoso de Oliveira, pela orientação para a realização desde trabalho, pelo incentivo, paciência, empenho como orientadores e principalmente pela confiança em mim depositada.

A minha mãe, **Rosana Sousa**, que sempre primou pela Educação dos seus filhos, além de nos oferecer a oportunidade de estudar, esteve sempre presente em cada etapa. Agradeço pelo exemplo de ser humano extraordinário, por ser minha melhor amiga, por ser a pessoa que mais me apoia e acredita na minha capacidade, pela confiança, pelas orações, te agradeço pelas horas em que ficou ao meu lado, não me deixando desistir, esta conquista é nossa. Tenho o maior orgulho de te chamar de mãe. Obrigada por abrir mão de tantos sonhos seus para me proporcionar a realização dos meus.

Ao meu pai José Arnaldo e aos meus irmãos Tácio Felipe e Taciana Silva, aos meus cunhados João Bispo e Thalia Nunes, por todo apoio e palavras de incentivo durante tempo de caminhada, sou muito grata a DEUS pela família que Ele me deu, amo vocês. Em especial a minha sobrinha, Maria Cecília, sua chegada trouxe uma luz intensa de amor e esperança para iluminar nossas vidas... tenho um amor incondicional por ela, parte de mim.

Ao meu esposo Everton Diogo, obrigada por me apoiar e estar ao meu lado sempre, por me ajudar a suportar a distância dos meus, pelas palavras de incentivo nos momentos difíceis, pelo permanente incentivo e preocupação com que sempre acompanhou meu trabalho. Agradeço ainda a paciência e o amor demonstrados nos meus momentos menos bons... Ter você me apoiando deixou a caminhada muito mais leve.

As minhas queridas e amadas avós Maria Ester e Netinha, mulheres de fibra e personalidade, e ao mesmo tempo doces e delicada. Que mesmo sem entenderem o eu fazia tão longe de casa sempre me apoiaram. Obrigada pelas orações para que meus objetivos fossem alcançados. Meus anjos na terra!

Aos meus tios, tias e primos, família que mesmo longe são tão presentes em minha vida, obrigada pela compreensão quando não pude me fazer presente em tantos momentos especiais, obrigada pela torcida de sempre.

As irmãs que DEUS colocou em meu caminho, Magda Laiara, Aline Madeira, Raquel Barbosa, Gracielle Verçoza e Jéssica Morais, meninas não acho palavras para agradecer a TUDO que vocês fizeram por mim, muito obrigada pela companhia e por fazerem da nossa republica um lar.

A Fazenda Experimental Vale do Curú e seus funcionários, que estavam sempre solícitos a ajudar e contribuir, direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

Aos Professores integrantes da banca, por aceitarem o convite e dedicarem seu tempo para efetuar a leitura, a correção e as sugestões para o aperfeiçoamento do trabalho.

Ao Laboratório de Análise de Sementes, Laboratório de Virologia Vegetal, na pessoa do professor José Albersio, Laboratório de Fisiologia da Produção, Laboratório de Melhoramento e Biotecnologia Vegetal, na pessoa da professora Rosilene Oliveira e Laboratório do Parque de Desenvolvimento Tecnológico-PADETEC, pela concessão do ambiente de trabalho e equipamentos para a realização de etapas importantes desta pesquisa.

Trabalho de campo não é fácil, durante a instalação dos dois ciclos DEUS mandou anjos em forma de amigos para me ajudar. Não poderia deixar de expressar meu agradecimento a vocês Bruno Lessa, Cristiano Severino, Andreza Raquel, Ronimeire Torres, Manuel Filipe, Maria de Fátima, Laianny Morais, Janderson Pedro, Anderson Herculano, Antonia Gardênia, Wesley Abreu, Joana Moura, Ítalo Viana, André Nogueira, Arnaldo Sales, Wesley Costa, Fidel Carlos, Ramon Costa, Ana Kelly. Obrigada a vocês que me ajudaram em tantas e todas as etapas dos meus experimentos, sem a colaboração de cada de vocês, a conclusão desse trabalho não seria possível.

Enfim, quero agradecer a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que esse trabalho fosse realizado.

A mente que se abre a uma nova ideia jamais  
volta a seu tamanho original.

Albert Einstein.

## RESUMO

O sorgo sacarino apresenta-se como uma alternativa bastante promissora para a produção de etanol, podendo ser colhido no período de entressafra da cana-de-açúcar. Várias práticas culturais são importantes na produção vegetal, entre estas, a escolha do melhor arranjo de plantas é importante por favorecer a maior eficiência no aproveitamento dos recursos do ambiente, como luz e água, além do controle de plantas invasoras. O objetivo desse experimento foi avaliar o crescimento, a produtividade e a qualidade do caldo de duas variedades de sorgo sacarino, além da produção e qualidade de sementes em função de diferentes espaçamentos entrelinhas e entre plantas. Para isso, foi conduzido um experimento na Fazenda Experimental Vale do Curu pertencente à Universidade Federal do Ceará, Pentecoste – CE, com dois ciclos agrícolas (2015 e 2016) em regime de sequeiro. Utilizou-se as variedades BRS 506 e SF 15, sendo estudados os espaçamentos entrelinhas (50, 60, 70 e 80 cm) e entre plantas (8, 12 e 16 cm). Os valores médios referentes ao crescimento morfológico das plantas mostram que a maior altura foi observada aos 90 DAS (328,11 cm) e que o diâmetro do colmo foi favorecido no espaçamento entrelinhas de 70 cm, onde apresentou 15,59 mm. Para a produção de fitomassa foram observados valores superiores para a variedade BRS 506, no primeiro ciclo. O menor espaçamento entrelinhas utilizado proporcionou os maiores valores de MST, em ambos os ciclos, isto é, 34,6 e 16,2 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Entre as variedades estudadas o melhor desempenho com relação ao rendimento do caldo foi para a BRS 506, que apresentou média de 12,01 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. A variedade BRS 506 apresentou média de 140,02 g L<sup>-1</sup> de CST, com produção média de 4.157,85 L ha<sup>-1</sup> de etanol no primeiro ciclo. Com relação a qualidade das sementes verificou-se que tanto a variedade quanto o arranjo das plantas as afetaram fisiologicamente. O sorgo sacarino apresenta melhor produtividade de fitomassa quando manejado no espaçamento de 50 cm entrelinha e 8 cm entre plantas, perfazendo uma população de 250 mil plantas por hectare. O mesmo espaçamento de cultivo é recomendando visando a produtividade e qualidade de caldo nas condições do semiárido nordestino. Porém, visando a produção de sementes as plantas de sorgo sacarino (BRS 506) devem ser manejadas no maior espaçamento estudado, 80 cm entrelinha e 16 cm entre plantas para obtenção de sementes com maior desenvolvimento e vigor.

**Palavras-chaves:** *Sorghum bicolor*. Espaçamento. Potencial agrônomo. Biocombustíveis. Qualidade de sementes.

## ABSTRACT

Sweet sorghum is a very promising alternative for the production of ethanol, and can be harvested during the off-season of sugarcane. Several cultural practices are important in plant production. Among them, choosing the best plant arrangement is important because it favors greater efficiency in the use of environmental resources, such as light and water, and the control of invasive plants. The objective of this experiment was to evaluate the growth, productivity and quality of the broth of two varieties of sorghum, in addition to the production and quality of seeds as a function of different spacings between lines and between plants. For that, an experiment was conducted at the Curu Valley Experimental Farm belonging to the Federal University of Ceará, Pentecoste - CE, with two agricultural cycles (2015 and 2016) in the rainy season. The BRS 506 and SF 15 varieties were used, and the spacings between the lines (50, 60, 70 and 80 cm) and between plants (8, 12 and 16 cm) were studied. The mean values for the morphological growth of the plants showed that the highest height was observed at 90 DAS (328.11 cm) and that the diameter of the stem was favored at the 70 cm spacing, where it presented 15.59 mm. For the phytomass production, higher values were observed for the BRS 506 variety, in the first cycle. The smaller line spacing used provided the higher MST values in both cycles, ie 34.6 and 16.2 t ha<sup>-1</sup>, respectively. Among the studied varieties, the best performance in relation to broth yield was for BRS 506, which presented a mean of 12.01 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. The BRS 506 variety presented a mean of 140.02 g L<sup>-1</sup> of CST, with average yield of 4,157.85 L ha<sup>-1</sup> ethanol in the first cycle. Regarding the quality of the seeds, it was verified that both the variety and the arrangement of the plants affected them physiologically. The sorghum presents better phytomass productivity when handling in the spacing of 50 cm between the lines and 8 cm between plants, making a population of 250 thousand plants per hectare. The same crop spacing is recommended for yield and broth quality in the semi-arid Northeast. However, for seed production, sorghum (BRS 506) plants should be managed in the largest spacing studied, 80 cm between the lines and 16 cm between plants to obtain seeds with higher development and vigor.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*. Spacing. Agronomic potential. Biofuels. Seed quality.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL .....	12
2	HIPÓTESES .....	14
3	OBETIVOS .....	14
4	REVISÃO DE LITERATURA .....	15
5	AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DO SORGO SACARINO NA REGIÃO SEMIÁRIDA: VARIEDADES E EFEITO DE ESPAÇAMENTO .....	24
6	PRODUTIVIDADE DE FITOMASSA DE SORGO SACARINO SOB EFEITO DO ARRANJO ESPACIAL .....	39
7	POTENCIAL DO CALDO DE SORGO SACARINO COMO FONTE DE ETANOL PARA REGIÕES DO SEMIÁRIDO: VARIEDADES E EFEITO DO ARRANJO ESPACIAL .....	58
8	QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO SACARINO [ <i>Sorghum bicolor</i> (L.) MOENCH.] EM RESPOSTA À DENSIDADE DE PLANTIO NA REGIÃO SEMIÁRIDA .....	72
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	90
	REFERÊNCIAS .....	91
	ANEXO A – PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E ANÁLISES DE SOLO .....	100
	APÊNDICE A – LISTA DE FIGURAS SEPARADOS POR CAPÍTULOS ...	103
	APÊNDICE B – LISTA DE TABELAS SEPARADOS POR CAPÍTULOS ..	105

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A incerteza da disponibilidade futura de recursos não renováveis tem despertado o interesse do mundo pelos biocombustíveis, sendo apontado como o substituto mais viável do petróleo. A busca por combustíveis de fontes renováveis (oriundas de produtos animais e vegetais) tem se expandido rapidamente nos últimos anos, devido à preocupação com a elevada emissão de gases associados ao efeito estufa, que são liberados como resultado de reações durante a utilização dos combustíveis fósseis (MAY et al., 2012).

Dentre os biocombustíveis, o etanol é considerado uma alternativa promissora na substituição aos derivados de petróleo, que é a base principal da matriz energética atual. À medida que a demanda por combustíveis aumenta, intensifica-se também a busca por outras fontes de energia que sejam inesgotáveis.

O Brasil é o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do mundo e líder na tecnologia de produção. Essa liderança e competitividade deve-se a longos anos de pesquisa, que resultou em valiosa bagagem de conhecimento e de tecnologia sobre a cana-de-açúcar, seus derivados e sobre o processo de obtenção do etanol, sendo produzidos 27,8 bilhões de litros de etanol na safra 2016/2017, desse montante 39,8% foi destinado a produção de etanol anidro, utilizada na mistura com gasolina (CONAB, 2017).

Visando minimizar a utilização de combustíveis fósseis, e intensificar a produção de etanol juntamente à cana-de-açúcar, o sorgo sacarino vem ganhando atenção da comunidade acadêmica e de pesquisadores. Esta cultura apresenta muitas vantagens no sistema de produção, além disso, diminui a ociosidade das indústrias canavieiras na produção de etanol, podendo ocupar o período de entressafra da cana-de-açúcar, dando oportunidade à rotação de culturas e proporcionando um período anual completo (QUEIROZ et al., 2013), ainda há a vantagem de utilizar todo parque de equipamentos da indústria sucroalcooleira atual.

Atualmente o sorgo sacarino vem sendo uma alternativa importante para cultivo em diversas regiões (PARRELLA et al., 2010). Por apresentar vantagens como eficiência no uso de água e tolerância a estresses bióticos, o sorgo se torna uma alternativa interessante para a geração de agroenergia em locais em que as condições edafoclimáticas limitam a exploração de outras culturas mais tradicionais, como as regiões áridas e semiáridas. Podendo, dessa forma, fornecer um processo racional de produção de energia sob bases renováveis nessas regiões. Agrega-se ainda, possibilidade de ser explorado pela agricultura familiar ou pequenos

agricultores na escala de micro ou mini destilaria para produção de produtos como o etanol, aguardente ou rapadura (SOUZA et al., 2005; RIBEIRO-FILHO et al., 2008).

Várias práticas culturais são importantes na produção vegetal, entre estas o arranjo espacial de plantas, por proporcionar maior eficiência no aproveitamento dos recursos do ambiente, como luz, água e nutrientes (ALBUQUERQUE et al., 2012). A adequada distribuição espacial das plantas influencia diretamente o desempenho da cultura, sem custo adicional, o que indica que a densidade de semeadura é um manejo importante do sistema de produção e estas mudanças vão depender da cultivar e da disponibilidade hídrica e/ou de nutrientes (COELHO et al., 2002).

O aumento na densidade de plantas pode resultar na redução do seu diâmetro, acarretando assim o acamamento e quebramento das plantas, nesses casos altas populações devem ser evitadas. A escolha do melhor arranjo de plantas é fundamental para o estabelecimento e desenvolvimento da cultura, tendo em vista que o rendimento é diretamente influenciado pela interceptação da radiação solar (MAY et al., 2012).

Ao definir o melhor arranjo das plantas na área, espera-se adequar o melhor espaçamento e a melhor população para cada cultivar. Diversos autores (JONES, JOHNSON, 1997; BAUMHARDT, HOWELL, 2006; ALBUQUERQUE et al. 2011) relataram a importância do arranjo de plantas para o sorgo na obtenção de maiores produtividades de grãos e/ou matéria seca em função do arranjo aplicado na área de cultivo.

Visando a produção de etanol, estudos têm mostrado que a redução do espaçamento entrelinhas para a cultura do sorgo sacarino resulta em ganhos importantes (SILVA et al. 2017a). Em relação à população de plantas, os estudos nem sempre indicam efeitos sobre as principais variáveis de produção, em decorrência da variação ambiental e pelos distintos espaçamentos avaliados em cada estudo (ALBUQUERQUE et al., 2014).

Trabalhos desenvolvidos por Albuquerque et al. (2010), avaliando as variedades de sorgo sacarino BRS 506 e BRS 511 em diferentes locais no Estado de Minas Gerais com os espaçamentos 50; 70; 90 e 110 cm e populações de 100.000; 150.000; 200.000 e 250.000 plantas ha<sup>-1</sup>, observaram que o aumento da população em até 250.000 plantas ha<sup>-1</sup> propiciou incrementos na produtividade de biomassa verde, porém, sem elevações na massa de colmo por hectare, devido à redução do diâmetro com o aumento do número de plantas por hectare.

Apesar das características favoráveis que o sorgo sacarino apresenta para configurar como matéria-prima na produção de etanol, sua utilização não expandiu como esperado, Zegada-Lizarazu e Monti (2012), justificam essa situação pelo fato de que o nível de interesse

vai depender de fatores como a flutuação do preço de combustíveis fósseis e da disponibilidade no mercado internacional, ainda citam que informações importantes foram geradas no passado, porém de maneira pouco consistente e as vezes restritas a determinadas áreas e situações. Assim ainda existem diversas lacunas de informação que precisam ser preenchidas ou atualizadas, como é o caso das técnicas adequadas de manejo.

Neste sentido, é fundamental conhecer os mais adequados sistemas de produção (cultura, variedades, arranjo espacial, tratamentos culturais, etc.) voltados para a região semiárida, visando uma melhor exploração dos recursos disponíveis.

## **2 HIPÓTESES**

Os diferentes espaçamentos entrelinhas e entre plantas influenciam no desenvolvimento agrônomo, na produção de fitomassa e na quantidade e qualidade do caldo e sementes do sorgo sacarino, dependendo da variedade.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar o crescimento, a produtividade e a qualidade do caldo de duas variedades de sorgo sacarino, além da produção e qualidade de sementes em função de diferentes espaçamentos entrelinhas e entre plantas.

### **3.2 Objetivos Específicos**

3.2.1 Caracterizar morfofisiologicamente o crescimento, em campo, de duas variedades de sorgo sacarino em função de diferentes espaçamentos entrelinhas.

3.2.2 Identificar entre duas variedades de sorgo sacarino, qual apresenta maior produção de fitomassa em função de diferentes espaçamentos entrelinhas e entre plantas.

3.2.3 Analisar a qualidade bioquímica do caldo de duas variedades de sorgo sacarino e identificar qual apresenta maior potencial à produção de etanol em função de diferentes espaçamentos entrelinhas e entre plantas.

3.2.4 Estudar a qualidade e a produção de sementes de duas variedades de sorgo sacarino em função de diferentes espaçamentos entrelinhas e entre plantas.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### A cultura do sorgo

Originária do continente africano, a cultura do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench, Família: *Poaceae*] que se tem conhecimento nos dias atuais é resultado da intervenção do homem, que domesticou a espécie e vem ao longo dos anos transformando-a para satisfazer às necessidades humanas (RIBAS, 2014).

O sorgo é uma monocotiledônea C4 de dias curtos, bem adaptada a temperaturas acima de 21°C, com elevada eficiência fotossintética, adaptando-se à vasta gama de ambientes sob condições de deficiência hídrica, onde seria desfavorável para maioria dos outros cereais, contudo, apesar da rusticidade o sorgo responde bem às boas práticas agrícolas e de manejo (DURÃES et al., 2012).

Apresenta raízes com grande quantidade de pelos radiculares, suas raízes também possuem sílica na endoderme e têm altos índices de lignificação de periciclo, o que confere a cultura uma maior tolerância ao déficit hídrico no solo. Seu caule é dividido em nós e entrenós e apresenta folhas grandes ao longo de toda a planta. Gera uma inflorescência terminal do tipo panícula (MAGALHÃES et al., 2011). Pode atingir de 1 a 4 metros de altura. Seus frutos são cariopse ou grão seco dispostos numa espiga séssil, fértil, acompanhada por duas espiguetas estéreis pedunculadas, que caracterizam o gênero (PARRELLA; SCHAFFERT, 2012).

Sendo classificados agronomicamente em cinco tipos de sorgo, que variam de acordo com as finalidades e aptidões de cada cultivar, sendo eles: o granífero, que tem os grãos como produto principal e é o mais cultivado no mundo (DUARTE, 2010); o forrageiro, que a biomassa é utilizada na produção de silagem (FERNANDES et al., 2009); o vassoura, para a confecção de vassouras e artesanatos (ALMEIDA-FILHO, 2012); o biomassa, que pode atingir até seis metros de altura em apenas 180 dias, ou seja, produz muito biomassa em um curto intervalo de tempo (CASTRO, 2014); e o sorgo sacarino, que apresenta colmo doce e succulento utilizado na produção de etanol de primeira geração (MAGALHÃES et al., 2011).

É o quinto cereal mais importante do mundo, ficando atrás apenas do trigo, do arroz, do milho e da cevada. Essa cultura é base alimentar de mais de meio milhão de pessoas em mais de 30 países. Na África e Ásia os grãos são largamente utilizados na alimentação humana, no Ocidente é mais utilizado na alimentação animal (TAYLOR et al., 2006). Já no Brasil o sorgo é destinado principalmente à produção de ração animal, sendo a região Centro-Oeste e Sudeste

as maiores representantes, detendo em torno de 79% da colheita nacional. Em seguida está à região Nordeste representando cerca de 14,3% e a região Sul e Norte somam 6,7%. Dentro desse montante as regiões Centro-Oeste e Sudeste se destacam como principal produtora de sorgo granífero e na região Sul e Sudeste destaca-se o cultivo do sorgo forrageiro (CONAB, 2016).

Há uma grande perspectiva para um aumento da cultura do sorgo, devido à grande expansão da cultura, principalmente na utilização do sorgo sacarino como matéria prima para a produção de etanol. Esse aumento pode acontecer em pouco tempo, tornando o sorgo sacarino como um dos importantes fornecedores de energia renovável para o mercado. Países como China, Índia, EUA, e vários países da África, além da UE, veem no sorgo sacarino uma alternativa real para o domínio completo da produção e uso do etanol (MARCOCCIA, 2007).

### **Produção de etanol no Brasil**

O Brasil é o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do mundo e líder na tecnologia de produção. Essa liderança e competitividade deve-se a longos anos de pesquisa em instituições de ensino e em empresas privadas, que resultou em valiosa bagagem de conhecimento e de tecnologia sobre a cana-de-açúcar, seus derivados e sobre o processo de fabricação do etanol (OLIVEIRA, 2016).

De acordo com Silva (2013), não é possível o cultivo da cana-de-açúcar em todas as regiões mantendo o mesmo nível de produtividade encontrado nas regiões centro-sul e nordeste, devido as grandes variações climáticas existentes no Brasil. Dessa maneira, o sorgo sacarino pode ser utilizado como alternativa, por demandar condições edáficas e climáticas diferentes.

Cultivado no Brasil desde a década de 50, o sorgo sacarino ganhou importância econômica em meados da década de 70 com a implementação do Programa Nacional do Álcool (Pró-Álcool) pelo governo brasileiro. Programa que tinha como objetivo a substituição do uso de combustíveis veiculares derivados do petróleo por biocombustíveis, devido à crise do petróleo. Nesta época, a principal cultura já era a cana-de-açúcar, mas o sorgo sacarino era cultivado de maneira satisfatória para viabilizar a atividade de médias e pequenas destilarias, principalmente por apresentar ciclo rápido, de apenas quatro meses, e assim manter essas micro destilarias sem períodos ociosos. A Embrapa passou a encaminhar programas de melhoramento genético, o que favoreceu a criação de cultivares com altos rendimentos de colmo e potencial elevado para a produção de etanol, destacando-se as variedades BRS 506 e 507 e o híbrido BRS

601. Com o Programa, o Brasil passou a ser referência mundial na produção de etanol, tornando-se economia pioneira no uso de biocombustíveis (PURCINO, 2011).

O etanol a partir dessa matéria-prima pode ser caracterizado como um combustível ecologicamente correto, por ser de origem vegetal, onde se aproveita todos os componentes da planta na produção de energia para a destilaria, adubação do solo e para alimentação de animais, poluindo menos que os combustíveis fósseis de origem do petróleo e pode ser produzido a partir de qualquer fonte de carboidrato fermentável pela levedura: milho, beterraba, batata, cevada, aveia, centeio, arroz e sorgo sacarino, sendo necessário hidrolisar as moléculas maiores de carboidratos complexos em açúcares simples fermentáveis (OLIVEIRA, 2016).

### **Sorgo sacarino: Potencialidade para a produção de etanol**

Ultimamente, com a real demanda e dependência mundial por combustíveis fósseis, o esgotamento desse recurso petrolífero é inevitável, assim, existe uma busca por novas fontes de energia a partir de fontes renováveis (LIMA, 2011). No Brasil, a principal matéria-prima na produção sustentável de etanol é a cana-de-açúcar, como já foi citado, que devido as grandes variações edafoclimáticas encontradas no país não é possível obter as mesmas produtividades encontrada nas regiões centro-sul e nordeste em todas as regiões.

Como alternativa para incrementar a produção nacional de etanol a partir da cana-de-açúcar, surge o sorgo sacarino, que apresenta um caldo rico em açúcares fermentáveis, semelhante ao encontrado na cana-de-açúcar, o caldo do sorgo sacarino pode ser utilizado para produção de etanol de primeira geração, na extração de seu material são usadas às mesmas instalações da cana-de-açúcar (PARRELLA et al., 2014). Apresenta ciclo vegetativo curto, que vai de 90 a 130 dias, podendo ser cultivada na entressafra da cana-de-açúcar. Sendo assim, um complemento na produção de etanol, ampliando o período de uso das usinas de etanol em três meses (SOUZA et al., 2005). O bagaço que resta desse processo pode ser destinado à produção de alimentação animal, cogeração de eletricidade, em usinas termoelétricas ou matéria-prima para produção de etanol de segunda geração através de hidrólise enzimática ou química, seguida de fermentação (ALBUQUERQUE et al., 2011; MIRANDA, 2011, PARRELLA et al., 2014).

É uma cultura que apresenta, relativamente, baixos custos de cultivo, por ter uma alta eficiência fotossintética e grande tolerância à seca, além disso, apresenta como vantagem em relação a cana-de-açúcar ser propagada por sementes e apresentar um período de maturação que gira em torno de 4 meses, além de (CALVIÑO; MESSING, 2012).

O fato do sorgo sacarino apresentar características como tolerância a estresses bióticos e eficiência no uso da água, vem sendo uma interessante alternativa na geração da agroenergia, em regiões onde as condições edafoclimáticas limitam a exploração de uma cultura mais tradicional, como nas áreas áridas e semiáridas (SCHAFFERT e GOURLEY, 1981, PARRELA et al, 2014).

Apesar das características favoráveis que o sorgo sacarino apresenta para configurar como matéria-prima na produção de etanol, sua utilização não expandiu como esperado, Zegada-Lizarazu e Monti (2012) justificam essa situação pelo fato de que o nível de interesse vai depender de fatores como a flutuação do preço de combustíveis fósseis e da disponibilidade no mercado internacional, ainda citam que informações importantes foram geradas no passado, porém de maneira pouco consistente e as vezes restritas a determinadas áreas e situações. Assim ainda existem diversas lacunas de informação que precisam ser preenchidas ou atualizadas, como é o caso das técnicas adequadas de manejo.

### **Arranjo espacial: espaçamento entrelinhas e densidade de plantio**

Entre as práticas culturais, os diferentes arranjos espaciais que podem ser empregados numa lavoura afetam diretamente o rendimento e a produtividade da cultura. A escolha do melhor arranjo de plantas diminui a competição intraespecífica proporcionando maiores eficiências no aproveitamento dos recursos do ambiente e favorecendo o controle de plantas daninhas (HUSSAIN et al., 2012).

Ajustar o espaçamento entrelinhas é de suma importância, por desempenhar funções que influenciam diretamente no desenvolvimento da cultura, como a capacidade de perfilhamento (THORSTED et al., 2006), e utilização eficiente de água, nutrientes e luz (HUSSAIN et al., 2012), além de alterar a arquitetura da planta, a capacidade fotossintética das folhas e conseqüentemente o particionamento da matéria seca (TAIZ et al., 2017).

A utilização de espaçamento reduzido contribui no controle de plantas daninhas, por apresentar um rápido fechamento das entrelinhas além de proporcionar a conservação da umidade do solo (BOSTRÖM et al., 2012). Para alcançar as maiores produtividades de sorgo é recomendado as populações em torno de 180 mil plantas/ha. No Brasil o espaçamento entrelinhas tem variado entre 45 e 70 cm, dependendo do sistema de produção. Independente do espaço entrelinhas, a densidade deve ficar em torno das 180 mil plantas/ha. Entretanto, o ideal é utilizar a recomendação técnica de cada cultivar (EMBRAPA, 2008).

O rendimento de biomassa em sorgo sacarino é influenciado pelo manejo, sendo, em geral, também dependentes das condições específicas do ambiente e do clima. Albuquerque et al. (2010) conduziram trabalhos envolvendo diferentes arranjos de plantas e duas diferentes cultivares e verificaram que a redução do espaçamento e o aumento da densidade de semeadura provocaram maior produtividade de massa verde. Stchler et al. (1997) observaram um incremento na produtividade de grãos de sorgo granífero, produzidos em área irrigada no Texas, EUA, quando reduziram o espaçamento entrelinhas de 90 para 70 cm.

A redução do espaçamento entrelinhas apresenta diversas vantagens potenciais, proporcionando distribuição mais uniforme entre as plantas por área de cultivo. De acordo com Palhares (2003), isso reduz a competição intraespecífica pelos recursos do ambiente, o que otimiza a sua utilização. O arranjo mais favorável de plantas por área devido à aproximação das linhas estimula as taxas de crescimento da cultura no início de seu ciclo, incrementa a interceptação da luz solar incidente e aumenta a eficiência de seu uso.

Já a densidade de semeadura é importante para alcançar elevadas produtividades, sendo ajustada levando-se em consideração a capacidade de perfilhamento da cultivar e tolerância ao acamamento (FIOREZE et al., 2012). Assim, proporcionar o ajuste correto da densidade de semeadura acarreta maior equilíbrio entre os componentes de rendimento, obtendo-se maiores produtividades (VALÉRIO et al., 2013).

Ao avaliar a cultura do sorgo em diferentes densidades de plantio, Lopes et al (2005) observaram uma competição intraespecífica entre os tratamentos, com uma superioridade na produtividade de grãos por planta, cultivadas na menor densidade de semeadura (100 mil plantas ha<sup>-1</sup>), comparada à maior densidade (220 mil plantas ha<sup>-1</sup>).

Segundo Fernandes et al. (2014), a redução da densidade populacional na cultura do sorgo nem sempre indica efeito significativo sobre as principais variáveis de produção. May et al. (2012) relataram que o aumento da população de plantas pode resultar na redução do diâmetro e altura das plantas, devido a competição por água, luz e nutrientes.

Diante do exposto, o melhor arranjo de plantas para sorgo pode variar em função de fatores como as condições ambientais e cultivar utilizada sendo necessário determinar-se, para cada região, o espaçamento e a densidade de semeadura ideal para o melhor desempenho das variedades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, R. A. C.; GUIMARÃES, A. S.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, K. M. J. Sweet sorghum in different row spacing and plant densities in minas gerais state, Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 1, p. 69–65, 2012.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; PARRELLA, R. A. C.; TARDIN, F. D.; BRANT, R. S.; SIMÕES, D. A.; FONSECA Jr., W. B.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, K. M. J. Potencial forrageiro de cultivares de sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: ABMS, p.2219-2224, 2010.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G. V.; RODRIGUES, J. A. S.; BRANT, R. S.; Espaçamento entre fileiras e Densidade de semeadura do Sorgo forrageiro para a região norte de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 494-501, 2011.

ALMEIDA FILHO, J. E. **Avaliação agronômica e de estabilidade e adaptabilidade de híbridos de sorgo granífero**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – UENF, Rio de Janeiro, p.13, 2012.

BAUMHARDT, R. L.; HOWELL. Práticas Sementeira TA, maturidade cultivar, e efeitos de irrigação no simulado rendimento de sorgo. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, n.3, p.462-470, 2006.

BOSTRÖM, U.; ANDERSON, L. E.; WALLENNHAMMAR, A. Seed distance in relation to row distance: Effect on grain yield and weed biomass in organically grown winter wheat, spring wheat and spring oats. **Field Crops Research**, v. 134, p. 144- 152, 2012.

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

CASTRO, F. M. R. **Potencial Agronômico e energético de híbridos de sorgo Biomassa** 2014.80f. Dissertação (mestrado em agronomia) - Programa de Pósgraduação em agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2014.

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, 24 p., 2002.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento, agosto de 2016. Brasília: Conab, 2016.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, quarto levantamento, abril/2017. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: CONAB, 2017. Acesso em: 09 de maio de 2017. Disponível em: [https://www.novacana.com/pdf/18042017090454\\_Conab\\_-\\_4\\_Levantamento\\_2016-17\\_180417.pdf](https://www.novacana.com/pdf/18042017090454_Conab_-_4_Levantamento_2016-17_180417.pdf)

DUARTE, J. O. **Cultivo do sorgo: Mercado e comercialização**. In: Sistemas de produção. Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_6\\_ed/mercado.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/mercado.htm) . 2010.

DURÃES, F. O. M.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema agroindustrial do sorgo sacarino no Brasil e a participação público-privada: oportunidades, perspectivas e desafios.**

Documentos 138- Embrapa Milho e Sorgo, 2012.

FERNANDES, F. E. P.; GARCIA, R.; PIRES, A. J. V.; PEREIRA, O. G.; CARVALHO, G. G. P.; OLIVINDO, C. S. Ensilagem de sorgo forrageiro com adição de ureia em dois períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.11, p.2111-2115, 2009.

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.

FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D. Perfilamento do trigo em função de aplicação do regulador vegetal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 750-755, 2012.

JONES, O. R., JOHNSON, G. L. Avaliação de uma curta temporada. alta densidade estratégia de produção para o sorgo sequeiro. **Texas: USDA-ARS**, de 1997.

HUSSAIN, M., MEHMOOD, Z., KHAN, M. B., FAROOQ, S., LEE, D. Narrow row spacing ensures higher productivity of low tillering wheat cultivars. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 14, p. 413-418, 2012.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia, In: Cultivo do Sorgo, **Sistemas de Produção**, 2, 7 ed, 2011.

MAY, A.; CAMPANHA, M. M.; SILVA, A. F.; COELHO, M. A. O.; PARRELLA, R. A. C.; SHAFFERT, R. E.; FILHO, I. A. P.; Variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v11, n.3, p. 278-290, 2012.

MARCOCCIA, R. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial.** 2007. 95 p. Dissertação (Mestrado) EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

MIRANDA, M. R. S. **Bagaço de sorgo: estimativa de parâmetros cinéticos e pirólise analítica.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Química, 105 p. 2011.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, Piracicaba. 90p. 2003.

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

PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E. Cultivares. In: MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, L. A. C (Editores). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol, Sistema BRS 1G**

– **Tecnologia qualidade Embrapa**. Documentos 139, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012, cap 1. p. 14-21.

PARRELLA, R. A. C., MENEZES, C. B., RODRIGUES, J. A. S., TARDIN, F. D., PARRELLA, N. N. L. D., SCHAFFERT, R. E. Cultivares. In: Borém, A., Pimentel, L. D., Parrella, R. A. C. (ed.). **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2014. cap. 7, p. 169-187.

OLIVEIRA, S. **Processos de produção**. Acesso em: 18 fev. 2016. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/samueloliveira/disciplinas/tecnologia-de-fabricacao-de-biocombustiveis/bioetanol/apostila-2-processo-de-producao-de-etanol-de-cana-de-acucar>>. 2016.

PURCINO, A. A. C. Sorgo sacarino na Embrapa: histórico, importância e usos. In: DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. Embrapa Agroenergia, **Agroenergia em revista**. Ano II, n. 3, ago. 2011.

QUEIROZ, T. R.; BERALDO, M, A; ERNESTO, R. C.; YOSHIMURA, B. K. **Análise da viabilidade econômica e as potencialidades de produção de biocombustível a partir do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench)**. GDS – Gestão da Sustentabilidade. XXIV

ENANGRAD, Resumos. Florianópolis, SC. 2013.

RIBAS, P. M. **Origem e importância econômica do sorgo**. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2014, 9-36.

RIBEIRO-FILHO, N.A.; FLORÊNCIO, I.M.; ROCHA, A.S.; DANTAS, J.P.; FLORENTINO, E.R.; SILVA, F.L.H. DA. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campinas Grande, v.10, n.1, p.9-16, 2008.

SCHAFFERT, R. E.; GOURLEY, L. M. Sorghum as energy source. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SORGHUM, 8., 1981, Patancheru, India. Proceedings... Patancheru, India: ICRISAT, Nov. 1981. p. 605-623.

SILVA, J. M. F., DUTRA, A. S., CAMARA, F. T., PINTO, A. A., SILVA, F. E. Row spacing, plant density, sowing and harvest times for sweet sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 4, p. 408–415, 2017.

SILVA, K. M. J. **Produtividade e qualidade do caldo de cultivares de sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais**. 2013. 40f. Monografia. Universidade Federal de Montes Claros. Janúba, MG, 2013.

SOUZA, C. C.; DANTAS, J. P.; SILVA, S. M.; SOUZA, V. C.; ALMEIDA, F. A.; 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**, Campinas, v.25, n. 3, p. 512-517, jul./set. 2005.

STICHLER, C.; CFARLAND, M.M.; COFFMAN, C. Irrigated and dryland grain sorghum production south and southwest Texas. **Bulletin of Texas Agricultural Extension Service**, Texas, v.6048, p. 11, Ago. 1997.

TAIZ, L., ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 888 p., 2017.

TAYLOR, J.R.N.; SCHOBBER, T.J.; BEAN, S.R. Novel Food and non-food uses for sorghum and millets. **Journal of Cereal Science**, London, v.44, n.3, p-252-271, 2006.

THORSTED, M. D.; OLESEN, J. E.; WEINER, J. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. **Field Crop Research**, v. 95, p. 280–290, 2006.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; BENIN, G.; SILVEIRA, G.; SILVA, J. A. G.; NORBERG, R.; HAGEMANN, T.; LUCHE, H. S.; OLIVEIRA, A. C. Seeding density in wheat: the more, the merrier? **Scientia Agricola**, v. 70, p. 176-184, 2013.

ZEGADA-LIZARAZU, W., MONTI, A., 2012. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. **Biomass Bioenergy**. v. 40, p 1–12. Doi: 10.1016/j.biombioe.2012.01.048.

## 5. CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DO SORGO SACARINO NA REGIÃO SEMIÁRIDA: VARIEDADES E EFEITO DE ESPAÇAMENTO <sup>1</sup>

**Resumo:** Com o objetivo de avaliar as características agronômicas de duas variedades de sorgo sacarino em função do espaçamento entrelinhas na região semiárida do estado do Ceará, foi realizado um experimento na Fazenda Experimental Vale do Curu pertencente à Universidade Federal do Ceará, Pentecoste – CE, com dois ciclos agrícolas (2015 e 2016), em Planossolo de textura franco arenosa e em regime de sequeiro. Foram utilizadas duas variedades de sorgo sacarino, BRS 506 e SF 15, cultivadas nos espaçamentos entrelinhas de 50, 60, 70 e 80 cm, sendo avaliados em diferentes tempos após a semeadura, (30, 45, 60, 75 e 90 DAS), em delineamento de blocos casualizados repetidos quatro vezes no arranjo de parcelas subdivididas (2x4x5). Em cada tempo foram analisados os parâmetros morfológicos de altura da planta, diâmetro do colmo, número de folhas, angulação da folha +3, clorofila a, b, total e relação clorofila a/b. A variedade BRS 506 apresentou maiores médias para as variáveis número de folhas e angulação da folha +3, nos dois ciclos avaliados. Os resultados referentes à altura das plantas, mostraram que a maior média foi observada aos 90 DAS (328,11 cm). E o diâmetro do colmo foi favorecido no espaçamento entrelinhas de 70 cm, onde apresentou 15,59 mm. Os teores de clorofila das folhas podem ser influenciados por fatores de estresse, como deficiência hídrica e mineral, principalmente, o nitrogênio. Referente as análises de clorofila, os resultados observados no primeiro ciclo, mostram que as maiores médias foram observadas aos 75 DAS, por outro lado, no segundo ciclo, ano que apresentou baixa precipitação (estresse hídrico), as maiores médias foram observados aos 30 DAS. A variedade BRS 506 é recomendada para cultivo em áreas de semiárido nordestino, apresentando boas características agronômicas sendo cultivada com 70 cm de espaçamento entrelinhas.

**Palavras-chaves:** *Sorghum bicolor* (L) Moench. Semiárido. Avaliações agronômicas. Pigmentos vegetais. Etanol.

### AGRONOMIC EVALUATION OF SWEET SORGHUM IN SEMIARID REGION: VARIETIES AND SPACING EFFECTS

**Abstract:** In order to evaluate the agronomic characteristics of the State of Ceará, an experiment was carried out at the Experimental Farm of the Curu Valley belonging to the Federal University of Ceará, Pentecoste - CE, with two agricultural cycles (2015 and 2016) sandy and dry land. Two varieties of sorghum, BRS 506 and SF 15, cultivated in the spaces between the lines of 50, 60, 70 and 80 cm, were described at different times after sowing (30, 45, 60, 75 and 90 DAS). in a randomized block design repeated four times in the arrangement of sub - divided plots (2x4x5). At each time, the morphological parameters of plant height, stem diameter, number of leaves, degree of cleavage +3, chlorophyll a, b, total and chlorophyll a / b ratio. A, br, br., Res., Br., 509, measures, number, leaves, and, angulation, leaf, +3, in the two cycles evaluated. The result of the session was at the level of the main ones, having reached the 90 DAS (328.11 cm). And the diameter of the neck was favored in the spacing between the lines of 70 cm, where it presented 15.59 mm. The chlorophyll content of the leaves can be influenced by stress factors, such as water and mineral, mainly nitrogen. Asphalous references of chlorophyll, the results observed in the first cycle, were the main meanings were observed at 75 DAS, on the other hand, in the second cycle, year that had low accumulation, as the averages were observed at 30 DAS. The BRS 506 variety is recommended for cultivation in semi-arid

<sup>1</sup> Artigo aceito para publicação em Journal of Agricultural Science.

Northeastern areas, presents good agronomic characteristics and is cultivated with 70 cm of line spacing.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* (L) Moench. Semiarid. Agronomic evaluations. Vegetable pigments. Ethanol.

## INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro apresenta características climáticas que, muitas vezes, limitam a produção agrícola em condições naturais, com forte insolação, altas temperaturas e regime de chuvas irregulares e, geralmente, concentradas num curto período de tempo. Cenário que vem se intensificando com as mudanças climáticas (MOURA et al., 2007; SANTOS et al., 2017). O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L) Moench) se apresenta como uma cultura promissora para essas regiões, por apresentar rusticidade e resistência a períodos de seca (FERREIRA et al., 2012).

O sorgo sacarino pode ser colhido no período de entressafra da cana-de-açúcar, beneficiando assim a indústria sucroenergética diminuindo o tempo de ociosidade, gerando matéria prima para a produção de etanol nesse intervalo, o sorgo sacarino possui elevada produção de biomassa, colheita antecipada e o mesmo processo de industrialização da cana-de-açúcar, esses fatores o torna como primeira opção para a renovação da área de cultivo, visando antecipar o período de moagem em cerca de 45 dias (SANTOS et al., 2015).

Existe uma tendência de crescimento na produção sem grandes avanços na área plantada que se deve, sobretudo, à presença de cultivares de maior potencial produtivo, e ao manejo adequado na condução da cultura. O arranjo de plantas pode ser manejado alterando-se o número de plantas na linha e o espaçamento entrelinha de semeadura, visando elevar o rendimento e melhorar a distribuição das plantas na área, por assim, aumentar a eficiência no uso da água, da radiação solar e dos nutrientes disponíveis, além de controlar as plantas daninhas. Estes estudos fornecem informações sobre como diminuir a concorrência intraespecífica e maximizar o uso de recursos ambientais (BELLALLOUI et al., 2015).

Fernandes et al. (2014) revelam que a redução do espaçamento entrelinhas, na cultura do sorgo sacarino, proporcionam ganhos de caracteres agronômicos, de importância para a produção de etanol. Entre os fatores mais influenciados, Fischer-Filho et al. (2014) destacam a produção de colmo (altura e diâmetro), que proporciona maior ou menor produção de caldo em função da biomassa verde, e, conseqüentemente, deve-se optar por arranjos de semeadura que proporcionem maior incremento dessas variáveis no momento da colheita.

Além disso, alterações luminosas no ambiente, que podem ser ocasionadas pelo manejo no espaçamento de cultivo, proporcionam ajustes do aparelho fotossintético das plantas, os quais resultam na maior eficiência na absorção e transferência de energia para os processos fotossintéticos. Sendo assim, os teores dos pigmentos cloroplastídicos, clorofila e carotenoides podem ser utilizados como importantes marcadores de ambientação do vegetal (MARTINS et al., 2010).

Mekad; Rady (2016) estudaram o comportamento de cinco variedades de sorgo sacarino e três densidades de plantio (111.000, 133.000 e 166.000 plantas/ha<sup>-1</sup>) em ambientes secos no Egito e verificaram que o potencial de produtividade da cultura pode ser melhor explorada quando as práticas agrônômicas, como a densidade, são exploradas da melhor forma. Eles mostraram que o diâmetro do colmo, peso do colmo e peso da folha apresentaram um aumento significativo quando cultivado na maior densidade.

Visando aproveitar ao máximo as reais condições enfrentadas no semiárido nordestino, buscou-se avaliar as características agrônômicas de duas variedades de sorgo sacarino em função do espaçamento entrelinhas na região semiárida do estado do Ceará.

## **MATERIAL E MÉTODO**

### *Localização e condições climáticas*

O ensaio foi instalado na Fazenda Experimental Vale do Curu pertencente à Universidade Federal do Ceará, Pentecoste – CE (coordenadas UTM 462620 E; 9577349 S e altitude de 48 m) em Planossolo de textura franco arenosa (EMBRAPA, 2013). Foram realizados dois ciclos agrícolas, o primeiro ciclo de cultivo foi instalado entre os meses de março a julho de 2015, período que compreende a estação chuvosa na região, com semeadura manual realizada em sete de março. O experimento foi repetido no ano de 2016, semeando-se em dezoito de março e estendendo-se até o mês de junho.

A região apresenta clima BSw'h', isto é, semiárido com chuvas irregulares (ALVARES et al., 2014). Os dados meteorológicos referentes aos períodos do experimento encontram-se nas Figura 1 (Anexo).

### *Materiais vegetais e preparo da área experimental*

As variedades utilizadas foram BRS 506, adquirida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, unidade Milho e Sorgo, situada na cidade de Sete Lagoas/MG e SF-15, cedidas pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA.

O preparo do solo foi realizado com aração seguida de gradagem. De acordo com a análise do solo (Anexo-Tabelas 1 e 2) da área do experimento e recomendações de Durões; May; Parrella (2012) no momento da semeadura, para ambos os anos, foi realizada adubação de fundação com 30, 50 e 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, tendo-se como fontes para cada nutriente os adubos minerais ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Aos vinte dias após a semeadura foi realizada uma adubação de cobertura com 140 e 45 kg ha<sup>-1</sup> de N e K<sub>2</sub>O, respectivamente.

### *Desenho e condução experimental*

Para as duas variedades em estudo (BRS 506 e SF-15) foram analisados os espaçamentos entrelinhas de 50, 60, 70 e 80 cm, (com o espaçamento entre plantas padronizado em 12 cm) em diferentes tempos após a semeadura, sendo eles 30, 45, 60, 75 e 90, o delineamento em blocos casualizados repetidos quatro vezes no arranjo de parcelas subdivididas (2x4x5). Perfazendo uma área total de 1.248 m<sup>2</sup>, com quatro blocos de 312 m<sup>2</sup> e parcelas variam de 10 a 16 m<sup>2</sup> de acordo com o tratamento. Cada parcela foi constituída de quatro linhas de cinco metros, sendo as duas linhas centrais a área útil da parcela.

### *Coleta de dados e variáveis analisadas*

Para cada unidade experimental foram avaliadas seis plantas, as medições foram feitas a cada 15 dias. Os parâmetros morfológicos analisados foram a altura da planta, o diâmetro do colmo, o número de folhas, a angulação da folha +3, clorofila a, b, total e relação clorofila a/b.

Para determinar a altura da planta (AL), a medida foi tomada da superfície do solo até a base da folha bandeira (estádio vegetativo) ou ápice da panícula (estádio reprodutivo). Para o diâmetro do colmo (DC), foi utilizado um paquímetro digital, determinando o diâmetro a partir da média de três leituras (base, meio e ápice de cada planta). A angulação da folha +3 (AF+3), 3<sup>o</sup> folha plenamente desenvolvida com bainha visível do ápice para baixo, foi determinada medindo-o ângulo entre a linha central do colmo com a linha da folha, com o auxílio de um transferidor. O número de folhas (NF) foi determinado pela contagem de folhas totalmente expandidas. E o índice relativo de clorofila foi determinado através do medidor ClorofiLOG

CFL1030, sendo realizadas leituras em três partes da folha +3, base, meio e ápice, com posterior cálculo da média.

### *Análises estatísticas*

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade das variâncias e quando atenderam a tais pressuposições foi feita análise de variância (ANAVA) com teste de Tukey (5%) para as variedades e regressão polinomial nos espaçamentos estrelinhas e para os diferentes tempos após a semeadura. Quando os dados não atenderam, a pelo menos uma das pressuposições, estes foram submetidos ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, com comparações múltiplas por pares quando  $p\text{-valor} \leq 0,05$  e nível de significância a 5%.

As variáveis clorofila  $a^2$  e clorofila total  $^2$  foram submetidas a transformação de dados através do sistema Boxcox, o que possibilitou o ajuste dos dados para realização da ANAVA.

As análises estatísticas foram feitas com o auxílio dos softwares Action 2.7 (ESTATCAMP, 2016) para transformação Box-cox, teste de Bartlett (teste de variância) e teste de Kruskal-Wallis; Assistat 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009) para os testes de normalidade; e Sisvar 5.3 Build 77 (FERREIRA, 2011) para ANAVA com Tukey ou regressão.

## **RESULTADOS**

Os valores médios para altura das plantas, nos dois anos de cultivo, revelaram que não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para as variedades e os espaçamentos entrelinhas estudados, ainda é possível observar um decréscimo de 59 cm na altura das plantas, no espaçamento entrelinhas de 50 cm, do primeiro para o segundo ciclo de cultivo, enquanto no espaçamento de 80 cm esse decréscimo foi de 53,5 cm. Ao longo do período de avaliações observou-se um incremento nas alturas das plantas de 247,66 cm, no primeiro ciclo, e 153,43 cm no segundo ciclo de cultivo, saindo dos 30 aos 90 dias após a semeadura (DAS) (Tabela 3).

A variedade BRS 506 apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ), com as maiores médias para o número de folhas e o ângulo da folha +3, comportamento observado nos dois ciclos de cultivo, notando-se um acréscimo de  $10,76^\circ$  no ângulo das folhas +3 do primeiro para o segundo ciclo. Enquanto o espaçamento entrelinha não apresentou diferença significativa. As maiores médias do número de folhas foram observadas aos 60 DAS, enquanto o maior ângulo foi observado aos 90 DAS, para ambos os ciclos de cultivo (Tabela 3).

**Tabela 3:** Altura da planta (AL<sup>1e2</sup>), número de folhas (NF<sup>1e2</sup>) e ângulo da folha (ANG<sup>1e2</sup>) de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes espaçamentos entrelinhas.

TRATAMENTOS	AL <sup>1</sup>	AL <sup>2</sup>	NF <sup>1</sup>	NF <sup>2</sup>	ANG <sup>1</sup>	ANG <sup>2</sup>
VARIETADES	-----cm-----				----- ° -----	
BRS 506	225,01 a	179,32 a	7,54 a	6,43 a	41,39 a	52,15 a
SF-15	230,48 a	176,90 a	7,08 b	5,90 b	33,72 b	36,01 b
<b>EL (cm)</b>						
50	232,41 a	173,41 a	7,20 a	5,99 a	36,67 a	42,60 a
60	223,55 a	182,10 a	7,01 a	6,25 a	35,60 a	43,14 a
70	226,35 a	181,80 a	7,44 a	6,52 a	38,20 a	46,15 a
80	228,65 a	175,14 a	7,60 a	6,14 a	39,76 a	44,43 a
<b>Tempo (DAS)</b>						
30	80,45 c	81,18 d	6,28 c	5,92 b	27,50 c	31,87 d
45	170,11 bc	149,53 c	8,17 a	4,67 c	24,56 c	39,56 c
60	256,09 b	204,40 b	8,73 a	8,08 a	34,67 b	45,57 b
75	313,94 a	220,83 a	7,19 b	5,86 b	40,41 b	51,12 a
90	328,11 a	234,61 a	6,19 c	6,28 b	60,64 a	52,28 a

<sup>1</sup>: primeiro ciclo; <sup>2</sup>: segundo ciclo; EL: espaçamento entrelinhas; DAS: dias após a semeadura.

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (K-W), com comparações múltiplas por pares quando p-valor  $\leq 0,05$ ; nível de significância a 5%.

Os índices relativos de clorofila, para o primeiro ciclo, podem ser observados na Tabela 4, nota-se que a variedade BRS 506 apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para clorofila a, b e total, com médias de 33,98, 9,24 e 43,21, respectivamente. A variedade SF15 só apresentou média superior para a variável relação clorofila a/b, com uma média de 4,22. Para os espaçamentos entrelinha avaliados não foram observadas diferenças significativas.

Aos 60 e 75 DAS foram observadas as maiores médias de clorofila a, enquanto para clorofila b e total as maiores médias foram apresentadas dos 60 aos 90 DAS, e a relação clorofila a/b apresentou médias superiores aos 30 e 45 DAS, com valores de 4,36 e 4,59, respectivamente.

**Tabela 4:** Índice relativo de clorofila, clorofila a (Clor a<sup>1</sup>), clorofila b (Clor b<sup>1</sup>), clorofila total (Clor total<sup>1</sup>) e razão clorofila a/b (Raz a/b<sup>1</sup>) de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes espaçamentos entrelinhas.

TRATAMENTOS	Clor a <sup>1</sup>	Clor b <sup>1</sup>	Clor total <sup>1</sup>	Raz a/b <sup>1</sup>
<b>VARIEDADES</b>				
BRS 506	33,98 a	9,24 a	43,21 a	3,79 b
SF-15	32,11 b	7,77 b	39,88 b	4,22 a
<b>EL (cm)</b>				
50	33,15 a	8,72 a	41,86 a	3,91 a
60	32,85 a	8,10 a	40,95 a	4,12 a
70	32,76 a	7,99 a	40,75 a	4 19 a
80	33,41 a	9,21 a	42,61 a	3,80 a
<b>Tempo (DAS)</b>				
30	32,18 b	7,40 b	39,59 b	4,36 a
45	32,84 ab	7,21 b	40,05 ab	4,59 a
60	33,96 a	8,88 a	42,84 a	3,88 b
75	34,46 a	9,58 a	44,04 a	3,69 b
90	31,76 b	9,45 a	41,20 a	3,50 b

<sup>1</sup>: primeiro ciclo; <sup>2</sup>: segundo ciclo; EL: espaçamento entrelinhas; DAS: dias após a semeadura. Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (K-W), com comparações múltiplas por pares quando p-valor  $\leq 0,05$ ; nível de significância a 5%.

Houve diferença significativa para os fatores de variação isolados Variedade ( $p > 0,01$ ), Espaçamento Entrelinhas ( $p > 0,05$ ) e Tempo ( $p > 0,01$ ), quanto ao diâmetro do colmo no segundo ciclo. Já a clorofila total, no segundo ciclo, apresentou diferença significativa ( $p > 0,01$ ) apenas para o fator de variação isolado Tempo (Tabela 5).

Foi observada diferença significativa ( $p > 0,01$ ) para a interação entre variedade e o tempo (DAS) para as variáveis diâmetro do colmo (primeiro ciclo) e clorofila b e relação clorofila a/b (segundo ciclo) (Tabela 5).

**Tabela 5:** Resumo da ANOVA das variáveis diâmetro médio do colmo (Diam<sup>1e2</sup>), clorofila a (Clor a<sup>2</sup>), clorofila b (Clor b<sup>2</sup>), clorofila total (Clor total<sup>2</sup>) e razão clorofila a/b (Raz a/b<sup>2</sup>) de duas variedades de sorgo sacarino em função de diferentes espaçamentos entrelinhas.

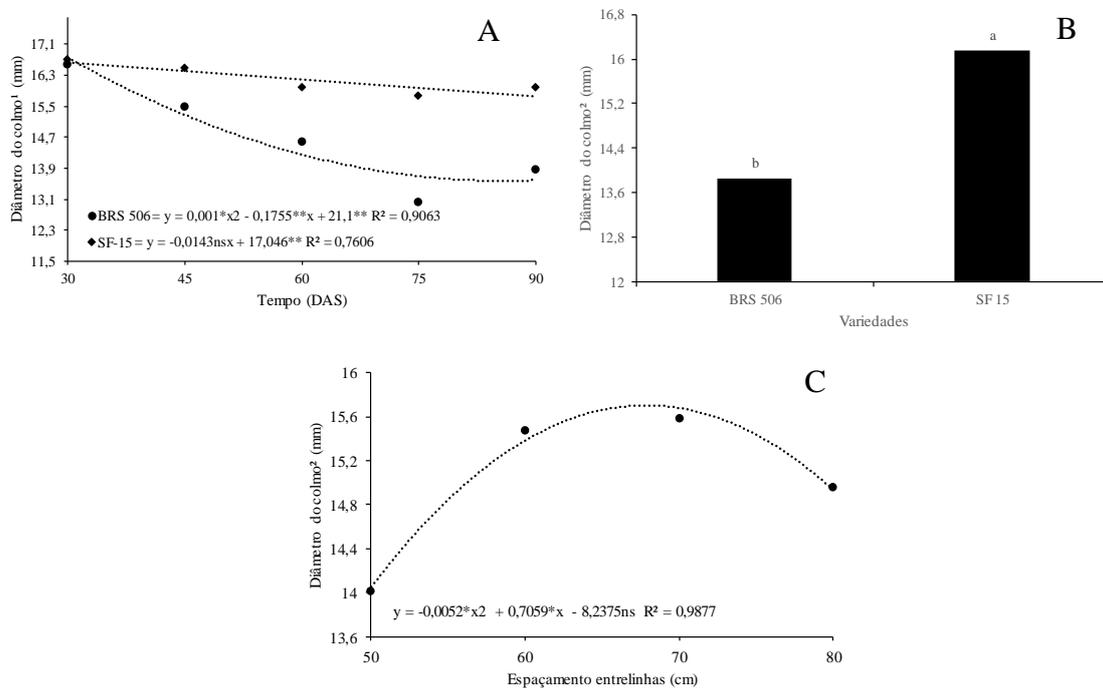
FV	GL	Diam <sup>1</sup>	Diam <sup>2</sup>	Clor a <sup>2</sup>	Clor b <sup>2</sup>	Clor total <sup>2</sup>	Raz a/b <sup>2</sup>
----- QM -----							
Bloco	3	1,43 <sup>ns</sup>	10,1 <sup>*</sup>	174474,83 <sup>ns</sup>	5,3050 <sup>ns</sup>	948108,35 <sup>ns</sup>	0,0574 <sup>ns</sup>
Variedade (V)	1	87,21 <sup>*</sup>	210,8 <sup>**</sup>	875081,41 <sup>ns</sup>	12,611 <sup>ns</sup>	3230848,12 <sup>ns</sup>	0,1128 <sup>ns</sup>
Erro 1	3	4,275	0,9739	1.037.661,25	5,9065	2.599.010,83	0,0327
EspLin (EL)	3	3,645 <sup>ns</sup>	20,466 <sup>*</sup>	127960,53 <sup>ns</sup>	1,7153 <sup>ns</sup>	430626,86 <sup>ns</sup>	0,0138 <sup>ns</sup>
V x EL	3	5,151 <sup>ns</sup>	14,009 <sup>ns</sup>	218034,31 <sup>ns</sup>	1,4314 <sup>ns</sup>	537086,17 <sup>ns</sup>	0,0132 <sup>ns</sup>
Erro 2	18	3,524	4,5746	361.727,86	4,0801	1.201.750,44	0,0300
Tempo (DAS)	4	25,14 <sup>**</sup>	23,38 <sup>**</sup>	4231499,3 <sup>*</sup>	22,46 <sup>**</sup>	10189786,1 <sup>**</sup>	0,1624 <sup>**</sup>
V x DAS	4	8,27 <sup>**</sup>	0,6002 <sup>ns</sup>	157809,93 <sup>ns</sup>	2,657 <sup>**</sup>	603115,58 <sup>ns</sup>	0,0274 <sup>**</sup>
EL x DAS	12	0,7849 <sup>ns</sup>	1,0099 <sup>ns</sup>	175137,79 <sup>ns</sup>	0,7894 <sup>ns</sup>	421518,61 <sup>ns</sup>	0,0040
V x EL x DAS	12	1,3467 <sup>ns</sup>	0,6259 <sup>ns</sup>	186006,05 <sup>ns</sup>	1,2366 <sup>ns</sup>	452826,51 <sup>ns</sup>	0,0117 <sup>ns</sup>
Erro 3	96	0,9463	0,7666	133.887,43	0,6872	298.547,77	0,0064
Total	159	-	-	-	-	-	-
CV <sub>1</sub>	-	13,38	6,57	41,00	32,61	45,67	12,12
CV <sub>2</sub>	-	12,15	14,25	24,21	27,10	32,05	11,60
CV <sub>3</sub>	-	6,30	5,83	14,73	11,12	15,48	5,38

<sup>1</sup>: primeiro ciclo; <sup>2</sup>: segundo ciclo; FV: fatores de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; t: normalizados pelo sistema box-cox; CV: coeficiente de variação; v: variedade; EL: espaçamento entrelinhas; EP: espaçamento ente plantas.

<sup>ns</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> respectivamente, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade de erro pelo teste F da análise de variância (ANAVA);

Verifica-se na Figura 2A que a média do diâmetro do colmo para a variedade SF-15, no primeiro ciclo, foi superior a partir dos 45 DAS, vale ressaltar que a redução observada ao longo do tempo avaliado para a variedade SF-15 foi de apenas 0,69 mm, enquanto a BRS 506 apresentou uma redução de 2,72 mm no diâmetro do colmo. No segundo ciclo de cultivo, a média do diâmetro do colmo da variedade Sf-15 foi superior, apresentando média de 16,15 mm e a BRS 506, média de 13,86 mm (Figura 2B). O espaçamento entrelinhas que conferiu a maior média do diâmetro do colmo foi o de 67,8 cm, sendo considerado o espaçamento de 70 cm tendo em vista a implementação no campo, apresentando no segundo ciclo uma média de 15,59 mm (Figura 2C).

**Figura 2:** Diâmetro do colmo de duas variedades de sorgo sacarino produzidos no semiárido em 2015 e 2016 em função de diferentes espaçamentos entrelinhas.



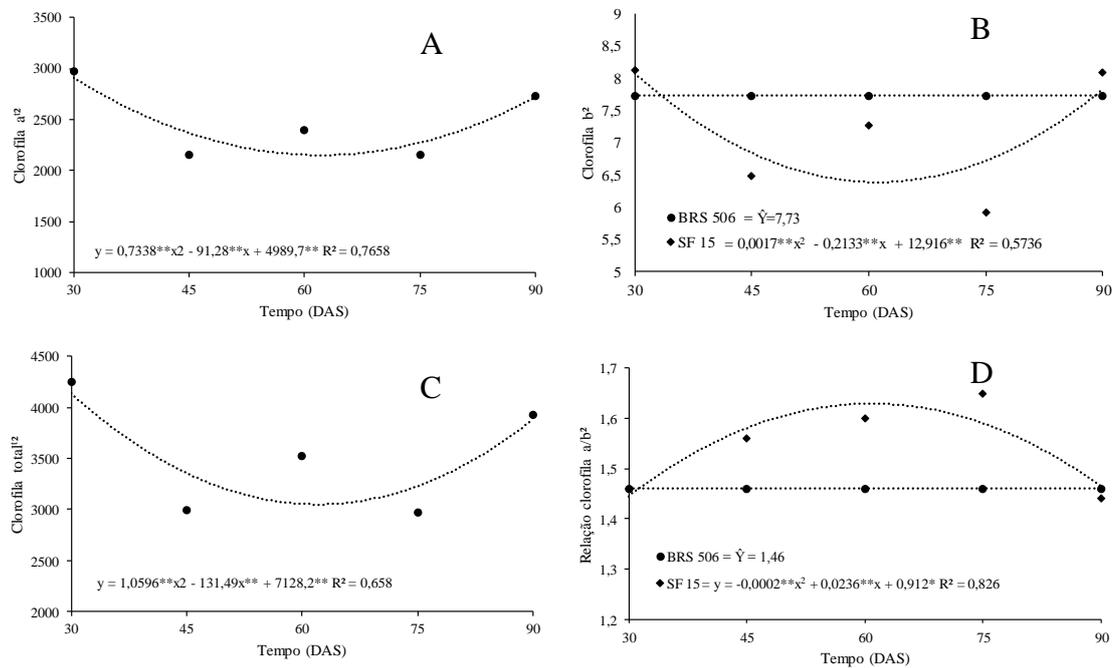
1:

primeiro ciclo; 2: segundo ciclo, \*, \*\*: respectivamente, significância pelo teste F quando significativo ao nível 5% e significativo ao nível de 1%. ns: não significativo.

Os valores do índice relativo de clorofila estão representados na Figura 3. A clorofila a, no primeiro ciclo, apresentou maior média aos 30 DAS (36,37), em seguida houve um decréscimo nessa variável de 4,28 aos 60 DAS, voltando a crescer aos 90 DAS (Figura 3A). Comportamento semelhante foi observado na clorofila b (Figura 3B) para a variedade SF-15, no segundo ciclo, que apresentou maior valor aos 30 DAS (8,12) e menor aos 75 DAS (5,91), já para a variedade BRS 506 não houve ajuste matemático, com uma média de clorofila b de 7,73.

A clorofila total (Figura 3C), no segundo ciclo, apresentou maior média aos 30 DAS (44,63) e menor aos 75 DAS (38,72). Enquanto a relação clorofila a/b, para a variedade SF-15 alcançou maior média aos 59 DAS (1,61) e a menor aos 90 DAS (1,44) e a variedade BRS 506 não apresentou ajuste matemático (Figura 3D).

**Figura 3:** Índice relativo de clorofila de duas variedades de sorgo sacarino produzidos no semiárido em 2015 em função de diferentes espaçamentos entrelinhas



<sup>2</sup>: segundo ciclo, \*, \*\*: respectivamente, significância pelo teste F quando significativo ao nível 5% e significativo ao nível de 1%. ns: não significativo. t: Transformação de dados pelo sistema Box Cox ( $\lambda = 2,5$  (Clorofila a<sup>2</sup>) e  $\lambda = 2,44949$  (Clorofila total<sup>2</sup>)).

## DISCUSSÃO

É essencial a utilização de características morfogênicas como critério de seleção de genótipos, uma vez que as respostas de adaptabilidade e estabilidade dos materiais em estudo são influenciados por variáveis meteorológicas e não apenas a produtividade de uma maneira isolada (BANDEIRA et al., 2018). A morfogênese conceitua-se como a dinâmica de geração e expansão da forma da planta no espaço, estando esta dinâmica relacionada às constantes oscilações do ambiente. Portanto, deve ser analisada cuidadosamente a fim de entender as formas pelas quais as plantas respondem a variações ambientais, pois inclui a taxa de surgimento de novos órgãos, suas taxas de expansão, de senescência e decomposição. Sendo que essas variáveis estão relacionadas diretamente à produtividade da cultura (COSTA et al., 2013).

A produção de biomassa para o sorgo sacarino tem relação direta com altura de plantas e diâmetro do colmo. Vale ressaltar que os açúcares, principalmente sacarose, que são convertidos em etanol, estão armazenados no colmo, essas características são influenciadas

pelas condições ambientais e pelo manejo cultural adotado (MAY et al., 2012).

A escassez de água é uma restrição ambiental severa, que afeta diretamente a produtividade da planta. Segundo Farooq et al. (2009) a perda induzida pela seca no rendimento das culturas, provavelmente, excede as perdas por outras naturalidades, pois tanto a severidade quanto a duração do estresse são críticos. Para fugir ou se adequar a essas situações as plantas apresentam uma variedade de mecanismos, visando suportar/tolerar o estresse hídrico. Os principais mecanismos incluem redução da perda de água através da regulação estomática, maior absorção de água com sistemas radiculares profundos e ramificados, além de diminuir o tamanho da planta e exibir folhas menores para reduzir a perda por transpiração (OLIVEIRA et al., 2017).

É possível notar que as plantas cultivadas no segundo ciclo, foram afetadas negativamente pela baixa precipitação (284,8 mm). Nota-se também que independente da variedade e do espaçamento entrelinhas, o experimento conduzido no primeiro ano de cultivo, obteve maiores médias de altura de plantas (Tabela 3), justifica-se esse fato pela melhor distribuição e volume de água ao longo do período de desenvolvimento da cultura, que apresentando uma superioridade de 129,1% em relação a precipitação observada em 2016 (Figura 1).

Silva et al. (2017) ao estudarem o sorgo sacarino (BRS 511) nas condições semiárido do Ceará observaram influência negativa das diferentes populações das plantas sobre a altura, ou seja, a maior população de plantas por hectare esteve associada com a menor altura observada.

Nem sempre a maior altura implicará em maior produção de matéria seca, esta variável deve estar correlacionada ao diâmetro do colmo. Característica importante como já foi citado anteriormente. Foi observado no presente experimento que a variedade SF-15 apresentou maior média de diâmetro do colmo, no segundo ano de cultivo (Figura 2B), porém, o que se pôde observar in loco foi um colmo com característica indesejada, visando a produção de etanol, sendo este bastante esponjoso, o que conferiu a essa variedade baixos valores em massa fresca do colmo e rendimento de caldo.

Observou-se que a variedade BRS 506 apresentou os maiores médias para número de folhas e angulação da folha +3, nos dois anos de cultivo (Tabela 3). Werner et al. (2001) ressaltam a importância da posição da folha, assim, quando mais horizontal ao solo tornam-se mais eficientes na captação de luz, todavia, luz em excesso não é convertida em fotoprodutos, o que resulta em menor taxa de ganho de carbono. Em contraposição folhas mais

perpendiculares ao solo diminui a interceptação da radiação excessiva resultando em um reforço no ganho de carbono, tendo assim, influência direta na produtividade da lavoura.

Os pigmentos fotossintéticos são bons indicadores do nível de estresse nas plantas (GOMES et al., 2014), por isso seus teores são frequentemente monitorados durante o período de estresse, através de medidas da coloração de folhas e estimativa da concentração de clorofila (PESTANA et al., 2001). Vale ressaltar que, os teores de clorofila foliares estão relacionados com fatores de estresse como deficiência hídrica e mineral, principalmente, o nitrogênio.

Leonardo et al. (2013) demonstram que há uma correlação entre o nitrogênio e o teor de clorofila, tendo em vista que o N é um elemento que constitui a molécula de clorofila, assim sendo, alguns autores avaliam o teor de clorofila como premissa para determinar o estado nutricional das plantas, quanto ao nitrogênio presente (ARGENTA; SILVA; BORTOLINI, 2001; CARVALHO et al., 2003).

Explicando assim o comportamento observado no experimento, que no primeiro ciclo, as maiores médias para os teores de clorofila foram observados aos 75 DAS (Tabela 4), enquanto no segundo ciclo de cultivo, ano que apresentou baixa precipitação (Figura 1), foram observadas as maiores médias, sendo estas observadas aos 30 DAS (Figura 3A B e C).

A importância do sorgo sacarino como cultura energética é dada por algumas vantagens, como a tolerância à seca, o grande potencial para produzir biomassa mesmo sob condições menos favoráveis condições de crescimento, e a facilidade de ser cultivado (MEKDDAD; RADY, 2016). Assim, poderia ser uma importante cultura para regiões semiáridas, ou podendo atuar em áreas de renovação de canaviais como matéria-prima de biocombustível, independente do clima.

## **CONCLUSÃO**

A variedade BRS 506 é recomendada para cultivo em áreas de semiárido nordestino, apresentado boas características agronômicas sendo cultivada com 70 cm de espaçamento entrelinhas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 715–722, 2001.
- BANDEIRA, A. H.; MEDEIROS, S. L. P.; EMYGDIO, B. M.; BIONDO, J. C.; LEAL, L. T. Morfologia foliar de sorgo sacarino cultivado em diferentes espaçamentos entrelinhas e épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 63–75, 2018.
- BELLALLOUI, N.; BRUNS, H. A.; ABBAS, H. K.; MENGISTU, A.; FISHER, D. K.; REDDY, K. N. Effects of Row-Type , Row-Spacing , Seeding Rate , Soil-Type , and Cultivar Differences on Soybean Seed Nutrition under US Mississippi Delta Conditions. **PLoS ONE** **10:1-23**. doi:10.1371/journal.pone.0129913, 2015.
- CARVALHO, M. A. C.; FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M. E.; PAULINO, H. B.; BUZZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 445–450, 2003.
- COSTA, N. L.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; MONTEIRO, A. L. G.; OLIVEIRA, R. A. Características morfogênicas e estruturais de *Trachypogon plumosus* de acordo com a fertilidade do solo e o nível de desfolha. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48, n. 3, p. 320–328, 2013.
- DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público- Privada: Oportunidades, Perspectivas e Desafios. **Documentos / Embrapa Milho e Sorgo**, p. 76, 2012.
- EMBRAPA, E. B. D. P. A.-. Sistema brasileiro de classificação de solos. v. 3.ed. Bras, p. 353p., 2013.
- ESTATCAMP. **Software Action**, 2014. Disponível em: <<http://www.estatcamp/empresa/software-action>>
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, p. 185–212, 2009.
- 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. 6, p. 1039–1042, 2011.
- FERREIRA, L. E.; SILVA, I. F.; SOUZA, E. P.; SOUZA, M. A.; BORCHARTTET, L. Caracterização física de variedades de sorgo submetidas a diferentes adubações em condição de sequeiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 7, n. 1, p.

249–255, 2012.

FISCHER-FILHO, J. A.; GOMES, G. G. C.; BOLONHEZI, A. C.; OLIVEIRA, J. A. V.; SANTOS, B. T. R. R. Sacarino characteristics of growth of hybrid sorghum. **Ciência & Tecnologia: Fatec-JB, Jaboticabal**, v. 6, p. 11–15, 2014.

GOMES, S. M. S.; LIMA, V. L.; SOUZA, A. P.; NASCIMENTO, J. J. V. R.; NASCIMENTO, E. S. Chloroplast pigments as indicators of lead stress. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 877–884, 2014.

LEONARDO, F. D. A. P.; PEREIRA, W. E.; SILVA, S. M.; COSTA, J. P. Teor de clorofila e índice spad no abacaxizeiro cv. vitória em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 377–383, 2013.

MARTINS, J. R.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; SILVA, A. P. O.; ALVES, E. Teores de pigmentos fotossintéticos e estrutura de cloroplastos de Alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 64–69, 2010.

MAY, A.; CAMPANHA, M. M.; SILVA, A. F.; COELHO, M. A. O.; PARRELLA, R. A. C.; SHAFFERT, R. E.; FILHO, I. A. P.; Variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n.3, p. 278-290, 2012.

MEKDDAD, A. A. A.; RADY, M. M. Productivity Response to Plant Density in Five *Sorghum bicolor* Varieties in Dry Environments. **Annals of Agricultural & Crop Scienses**, v. 1, n. 2, p. 1–7, 2016.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. Clima e água de chuva no Semi-Árido. In: **BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**, p. 37–59, 2007.

OLIVEIRA, H. P.; RIBEIRO, T. B.; MACHADO, A. S.; SILVA, L. O.; OLIVEIRA-JÚNIOR, A. R. Respostas fisiológicas de forrageiras ao déficit hídrico e baixas temperaturas. **Nutritime Revista Eletrônica**, v. 14, n. 5, p. 7008–7014, 2017.

PESTANA, M.; DAVID, M. M.; VARENNE, A.; ABADIA, J.; FARIA, E. A. Responses of “Newhall” orange trees to iron deficiency in hydroponics: effects on leaf chlorophyll, photosynthetic efficiency, and root ferric chelate reductase activity. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, p. 1609–1620, 2001.

SANTOS, J. M. R.; OLIVEIRA, A. R.; MELO, R. F.; SANTOS, M. L. S. Viabilidade do cultivo consorciado de sorgo sacarino e feijão-caupi em barragem subterrânea em regiões semiáridas. **Revista Científica Intellecto**, v. 2, n. 1, p. 5–15, 2017.

SANTOS, R. F.; PLACIDO, H. F.; GARCIA, E. B.; CANTÚ, C.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; FRIGO, K. D. A. Sorgo sacarino na produção de agroenergia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 1, p. 1–12, 2015.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: **WORLUTERS IN AGRICULTURE**, 7, Reno-NV-

**USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.**

SILVA, J. M. F.; DUTRA, A. S.; CAMARA, F. T.; PINTO, A. A.; SILVA, F. E. Row spacing , plant density , sowing and harvest times for sweet sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 4, p. 408–415, 2017.

WERNER, C.; RYELB, R. J.; CORREIAC, O.; BEYSCHLAGA, W. Structural and functional variability within the canopy and its relevance for carbon gain and stress avoidance. **Acta Oecologica**, v. 22, p. 129–138, 2001.

## 6. CAPÍTULO 2: PRODUTIVIDADE DE FITOMASSA DE SORGO SACARINO SOB EFEITO DO ARRANJO ESPACIAL<sup>2</sup>

**Resumo:** Com o objetivo avaliar o efeito de diferentes arranjos espaciais na produtividade de fitomassa de duas variedades de sorgo sacarino, a pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental Vale do Curu pertencente à Universidade Federal do Ceará, Pentecoste – CE. Foram realizados dois ciclos agrícolas (2015 e 2016), em Planossolo de textura franco arenosa e em regime de sequeiro. As variedades utilizadas foram BRS 506 e SF 15, sendo avaliados espaçamentos entrelinhas (50, 60, 70 e 80 cm) e entre plantas (8, 12 e 16 cm), em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições e em esquema fatorial triplo. As plantas foram colhidas aos 110 dias após a semeadura (DAS) para a variedade BRS 506 e aos 130 DAS para a variedade SF 15, onde foram avaliadas as variáveis matéria fresca e seca das partes separadamente, folhas, panícula, colmos e massa da matéria seca total determinada com o somatório da massa de matéria seca das partes. Os valores obtidos com a variedade BRS 506, no primeiro ciclo, foram superiores aos observados na variedade SF 15. Para a variedade BRS 506 observou-se matéria fresca total de 70,78 t ha<sup>-1</sup> no primeiro ciclo. Os resultados referentes a matéria seca do colmo, no primeiro ciclo, demonstraram que a variedade BRS 506 apresentou a maior média (29,51 t ha<sup>-1</sup>), enquanto a SF 15 se sobressaiu no segundo ciclo de cultivo, apresentando média de 11,02 t ha<sup>-1</sup>. A superioridade observada para a BRS 506 de um ciclo para o outro foi de 233,4%. Os menores espaçamentos nas entrelinhas e entre plantas proporcionaram maiores médias de fitomassa em decorrência da maior quantidade de material por área. A variedade BRS 506 é recomendada para produção de fitomassa no semiárido nordestino, numa densidade de plantio de 250 mil plantas por hectare.

**Palavras-chaves:** *Sorghum bicolor* (L) Moench. Energia renovável. Semiárido. Produção de biomassa.

### THE EFFECT OF SPACING ON PRODUCTIVITY OF SWEET SORGHUM BIOMASS

**Abstract:** The effect of different spatial arrangements on the biomass productivity of two sweet sorghum varieties was evaluated at the Vale do Curu Experimental Farm belonging to the Federal University of Ceará, Pentecoste, CE, Brazil. Two agricultural cycles (2015 and 2016) were carried out under rainfed conditions. The varieties used were BRS 506 and SF 15, and spacing between the rows (50, 60, 70, and 80 cm) and between plants (8, 12, and 16 cm) were evaluated in a randomized complete block design with four replications and a triple factorial scheme. The plants were harvested 110 days after sowing (DAS) for the BRS 506 variety and 130 DAS for the SF 15 variety. The fresh and dry matter of the separate parts, (leaves, panicle, stalk) were evaluated. Dry matter mass was determined by summing the mass of the dry matter of all the parts. The values obtained with the BRS 506 variety in the first cycle were higher than those observed in the SF 15 variety. For the BRS 506 variety, total fresh matter of 70.78 t ha<sup>-1</sup> was observed in the first cycle. Results showed that the BRS 506 variety had the highest average (29.51 t ha<sup>-1</sup>), while the SF 15 showed the greatest growth in the second cycle, with an average of 11.02 t ha<sup>-1</sup>. The observed superiority for BRS 506 from one cycle to the next was 233.4%. The closer spacings between the rows and between plants provided higher average biomass due to the greater amount of material per area. The BRS 506 variety is recommended for biomass production in the semiarid northeastern Brazil at a planting density of 250,000 plants per hectare.

<sup>2</sup> Artigo aceito para publicação na revista Journal of Agronomy

**Keywords:** *Sorghum bicolor* (L) Moench. Renewable energy. Semiarid. Biomass Production

## INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro vem ganhando, cada vez mais, relevância no desenvolvimento econômico e social brasileiro, sendo o maior produtor e referência mundial. Na última década o Brasil apresentou um crescimento de aproximadamente 65% nesse setor, sendo estimado para a safra 2017/2018 a produção de 647,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar e de 27,8 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2017). Porém o setor já mostra sinais de insuficiência com o aumento da demanda gerada com o crescimento do setor automotivo, crescendo principalmente a produção e venda de veículos bicombustíveis (LOZANO et al., 2018).

Diante desse cenário, torna-se importante a busca por novas tecnologias que possam aumentar a produção anual de etanol no país, preferencialmente sem aumentos de custos e áreas plantadas (JAISWAL et al., 2017). Assim, como alternativa surge o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L) Moench) na entressafra da cana-de-açúcar. Essa espécie se assemelha à cana-de-açúcar no armazenamento de açúcares nos colmos, os quais possibilitam a produção de etanol, e o fornecimento de quantidade de bagaço suficiente para geração de vapor na operação industrial (ALMODARES; HADI, 2012).

Segundo Queiroz et al., (2013), o sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar, beneficia a indústria sucroenergética, que diminuirá o tempo de ociosidade, tendo matéria-prima para a produção de etanol nesse intervalo. Além disso, o sorgo sacarino possui vantagens na elevada produção de biomassa, na colheita antecipada e por possuir o mesmo processo de industrialização da cana-de-açúcar. Esses fatores o torna primeira opção para a renovação da área de cultivo, visando antecipar o período de moagem em cerca de 45 dias (FISCHER-FILHO et al., 2014).

Na busca por elevados rendimentos na produção do sorgo, um fator importante é o uso de variedades adaptadas aos sistemas de produção e às condições de ambiente encontradas nas regiões de plantio, com planejamento e manejo adequado. Vários fatores podem influenciar o desenvolvimento e a produção na cultura do sorgo sacarino, entre elas, a densidade de plantio, a qual pode afetar diretamente na produtividade da lavoura. Essa quantidade de plantas pode variar para mais ou para menos em função de muitos fatores como a variedade, as condições de capacidade produtiva do solo da região e a distribuição de chuva local. Ao definir o melhor

arranjo das plantas na área, almeja-se adequar o melhor espaçamento e a melhor população para cada cultivar (ALBUQUERQUE et al., 2012).

Ensaio têm sido desenvolvidos para elucidar o comportamento do sorgo sacarino conduzido em diferentes densidades populacionais. Tang et al. (2017) trabalhando com diferentes densidades de plantio, avaliou uma variedade de sorgo sacarino (GT-3) e uma variedade de sorgo biomassa (GN-4) em região semiárida chinesa e constataram que com o aumento na densidade de plantio (10,5 plantas/m<sup>2</sup>) obteve-se maior rendimento de biomassa seca, chegando a 13,2 t ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, Silva et al. (2017a) avaliaram a variedade BRS 511 no semiárido cearense, com três diferentes espaçamentos nas entrelinhas (70, 80 e 90 cm) e quatro populações de plantas (80.000, 100.000, 120.000 e 140.000 plantas.ha<sup>-1</sup>), relatando que a variedade foi favorecida quando cultivada numa população de plantas inferior a 120.000 plantas ha<sup>-1</sup> e espaçamento entrelinhas inferior a 0,80 m.

Portanto, a escolha do arranjo de plantas adequado é uma prática de manejo importante para otimizar o rendimento da produção do sorgo sacarino. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade de fitomassa de duas variedades de sorgo sacarino em função do arranjo espacial na região semiárida cearense.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Localização e condições climáticas*

O ensaio foi instalado na Fazenda Experimental Vale do Curu pertencente à Universidade Federal do Ceará, Pentecoste – CE (coordenadas UTM 462620 E; 9577349 S e altitude de 48 m) em Planossolo de textura franco arenosa (EMBRAPA, 2013). Foram realizados dois ciclos agrícolas, o primeiro foi conduzido entre os meses de março a julho de 2015, período que compreende a estação chuvosa na região, com semeadura manual realizada em sete de março. O experimento foi repetido no ano de 2016, semeando-se em dezoito de março e estendendo-se até o mês de junho.

A região apresenta clima BSw'h', isto é, semiárido com chuvas irregulares (ALVARES et al., 2014). Os dados meteorológicos referentes aos períodos do experimento encontram-se nas Figura 1 (Anexo).

### *Materiais vegetais e preparo da área experimental*

As variedades utilizadas foram BRS 506, adquirida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, unidade Milho e Sorgo, situada na cidade de Sete Lagoas/MG e SF-15, cedidas pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA.

O preparo do solo foi realizado com aração seguida de gradagem. De acordo com a análise do solo (Anexo-Tabelas 1 e 2) da área do experimento e recomendações de Durões; May; Parrella (2012) no momento da semeadura, para ambos os anos, foi realizada adubação de fundação com 30, 50 e 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, tendo-se como fontes para cada nutriente os adubos minerais ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Aos vinte dias após a semeadura foi realizada uma adubação de cobertura com 140 e 45 kg ha<sup>-1</sup> de N e K<sub>2</sub>O, respectivamente.

### *Desenho e condução experimental*

Para as duas variedades em estudo foram analisados os espaçamentos entrelinhas de 50, 60, 70 e 80 cm, e entre plantas de 8, 12 e 16 cm, tendo assim diferentes populações de plantas por hectare. Dessa maneira, o experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial triplo (duas variedades, quatro espaçamentos entrelinhas e três entre plantas). Utilizou-se uma área total de 1.248 m<sup>2</sup>, com quatro blocos de 312 m<sup>2</sup> e parcelas variam de 10 a 16 m<sup>2</sup> de acordo com o tratamento. Cada parcela foi constituída de quatro linhas de cinco metros, sendo as duas linhas centrais a área útil da parcela.

### *Coleta de dados e variáveis analisadas*

O material foi colhido quando atingiu a maturação fisiológica, o que aconteceu aos 110 dias após a semeadura (DAS) para a variedade BRS 506 (LESSA, 2015) e aos 130 DAS para a variedade SF-15 (SEAGRI/DIPAP, 2008). Foram coletadas aleatoriamente doze plantas nas linhas úteis, em seguida os feixes foram pesados, em balança de 15 kg, para determinação da massa da matéria fresca total (MFT).

Posteriormente separou-se aleatoriamente quatro plantas para determinação da massa da matéria fresca e seca de folhas (MFF e MSF), colmos (MFC e MSC) e panículas (MFP e MSP), pesados separadamente. A matéria fresca após pesagem foi colocada em estufa com circulação forçada de ar até massa constante para obtenção da matéria seca. A massa da matéria seca total (MST) foi determinada com o somatório da massa de matéria seca das partes. Os

dados de fitomassa foram extrapolados para  $t\ ha^{-1}$  em função da quantidade de plantas por hectare, respeitando o espaçamento e a densidade de semeadura utilizada em cada tratamento.

#### *Análises estatísticas*

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade das variâncias e quando atenderam a tais pressuposições foi feita análise de variância (ANAVA) com teste de Tukey (5%) para as variedades e espaçamento entre plantas; e regressão polinomial nos espaçamentos estrelinhas. Quando os dados não atenderam, a pelo menos uma das pressuposições, estes foram submetidos ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, com comparações múltiplas por pares quando  $p\text{-valor} \leq 0,05$  e nível de significância a 5%. As variáveis MFF<sup>1e2</sup>, MFP<sup>1</sup>, MFC<sup>1e2</sup>, MSF<sup>1e2</sup>, MSC<sup>1</sup> e MST<sup>1</sup> foram submetidas a transformação de dados através do sistema Boxcox, o que possibilitou o ajuste dos dados para realização da ANAVA.

As análises estatísticas foram feitas com o auxílio dos softwares Action 2.7 (ESTATCAMP, 2016) para transformação Box-cox, teste de Bartlett (teste de variância) e teste de Kruskal-Wallis; Assistat 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009) para os testes de normalidade; e Sisvar 5.3 Build 77 (FERREIRA, 2011) para ANAVA com Tukey ou regressão.

## **RESULTADOS**

Os dados de matéria fresca total, no primeiro ciclo de cultivo (Tabela 3) demonstraram que a variedade BRS 506 foi favorecida naquele ano, apresentando médias de  $70,78\ t\ ha^{-1}$ , enquanto a matéria seca da panícula foi superior para a variedade SF 15 ( $1,42\ t\ ha^{-1}$ ). No segundo ciclo de cultivo, entretanto, não foi observado diferença entre as médias para nenhuma das variáveis estudadas.

Os dois menores espaçamentos entrelinhas (50 e 60 cm) favoreceram a produção de matéria fresca total (MFT), no primeiro ciclo, apresentando média de  $80,63$  e  $66,11\ t\ ha^{-1}$ , respectivamente. A matéria fresca da panícula também apresentou maiores médias nos espaçamentos entrelinhas de 50 ( $0,87\ t\ ha^{-1}$ ) e 60 cm ( $0,72\ t\ ha^{-1}$ ), enquanto na matéria seca da panícula o valor observado foi  $0,53\ t\ ha^{-1}$ , ambos, no segundo ciclo de cultivo (Tabela 3).

O espaçamento entre plantas apresentou-se semelhante para todas as variáveis (Tabela 3), sendo as maiores médias observadas sempre no menor EP (8 cm), atentando para a média de MFT que no primeiro ciclo foi de  $82,16\ t\ ha^{-1}$  e no segundo ciclo de  $48,36\ t\ ha^{-1}$ , uma

superioridade de aproximadamente 70%. As médias observadas, no espaçamento de 8 cm, para matéria seca da panícula no primeiro ciclo foi 1,32 t ha<sup>-1</sup> e no segundo ciclo 0,55 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 3).

**Tabela 3:** Matéria fresca total (MFT<sup>1e2</sup>), matéria fresca da panícula (MFP<sup>1</sup>), matéria seca da panícula (MSP<sup>1e2</sup>) de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio produzido no semiárido (Pentecoste-CE).

TRATAMENTOS	MFT <sup>1</sup>	MFT <sup>2</sup>	MFP <sup>2</sup>	MSP <sup>1</sup>	MSP <sup>2</sup>
VARIEDADES	(t ha <sup>-1</sup> )				
BRS 506	70,78 a	40,22 a	0,41 a	0,77 b	0,76 a
SF-15	61,98 b	39,26 a	0,42 a	1,42 a	0,64 a
EL (cm)					
50	80,63 a	45,39 a	0,87 a	1,27 a	0,53 a
60	66,11 ab	42,12 ab	0,72 ab	1,05 a	0,41 ab
70	60,73 b	35,88 ab	0,63 b	1,11 a	0,37 b
80	58,05 b	35,55 b	0,57 b	0,96 a	0,35 b
EP (cm)					
8	82,16 a	48,36 a	0,90 a	1,32 a	0,55 a
12	62,59 b	38,29 b	0,66 b	1,10 ab	0,38 b
16	54,39 c	32,57 c	0,53 c	0,86 b	0,31 c

<sup>1</sup>: primeiro ciclo; <sup>2</sup>: segundo ciclo; EL: espaçamento entrelinhas; EP: espaçamento ente plantas.

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (K-W), com comparações múltiplas por pares quando p-valor ≤ 0,05; nível de significância a 5%.

A análise paramétrica para as variáveis de matéria fresca da folha (MFF<sup>1e2</sup>), da panícula (MFP<sup>1</sup>) e do colmo (MFC<sup>1e2</sup>), utilizando dados normalizados, apontam efeito significativo (p<0,01) para os fatores de variação de forma isolada, Variedade (V), Espaçamento Entrelinhas (EL) e Espaçamento Entre Plantas (EP) (Tabela 4). Apenas a MFC, analisado no segundo ciclo de cultivo, não apresentou significância para o FV variedade.

**Tabela 4:** Resumo da ANOVA para variável com dados normais e normalizados pelo sistema box-cox: Matéria fresca da folha (MFF<sup>1e2</sup>), da panícula (MFP<sup>1</sup>), do colmo (MFC<sup>1e2</sup>), matéria seca da folha (MSF<sup>1e2</sup>), do colmo (MSC<sup>1e2</sup>) e total (MST<sup>1e2</sup>) de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio produzido no semiárido (Pentecoste-CE).

FV	GL	MFF t <sup>1</sup>	MFP t <sup>1</sup>	MFC t <sup>1</sup>	MFF t <sup>2</sup>	MFC t <sup>2</sup>	MSF t <sup>1</sup>	MSC <sup>1</sup>	MST <sup>1</sup>	MSF t <sup>2</sup>	MSC t <sup>2</sup>	MST t <sup>2</sup>
		----- QM -----										
Bloco	3	0,0077 <sup>ns</sup>	0,1662 <sup>*</sup>	0,0581 <sup>ns</sup>	0,3232 <sup>**</sup>	0,2858 <sup>*</sup>	0,0549 <sup>ns</sup>	89,0628 <sup>ns</sup>	119,0343 <sup>ns</sup>	0,0555 <sup>**</sup>	0,1606 <sup>ns</sup>	0,1471 <sup>ns</sup>
Variedade (V)	1	2,8119 <sup>**</sup>	2,0126 <sup>**</sup>	0,4732 <sup>**</sup>	1,2105 <sup>**</sup>	0,0304 <sup>ns</sup>	0,1148 <sup>ns</sup>	2318,9855 <sup>**</sup>	1883,6271 <sup>**</sup>	0,1411 <sup>**</sup>	1,1288 <sup>**</sup>	0,8855 <sup>**</sup>
EspLin (EL)	3	1,0345 <sup>**</sup>	0,1444 <sup>**</sup>	0,5201 <sup>**</sup>	0,6580 <sup>**</sup>	0,4243 <sup>**</sup>	0,4384 <sup>**</sup>	194,0284 <sup>*</sup>	295,5130 <sup>**</sup>	0,1642 <sup>**</sup>	0,4359 <sup>**</sup>	0,4524 <sup>**</sup>
EspPlan (EP)	2	1,5593 <sup>**</sup>	0,9438 <sup>**</sup>	1,4248 <sup>**</sup>	2,1003 <sup>**</sup>	0,4243 <sup>**</sup>	2,0847 <sup>**</sup>	452,0484 <sup>**</sup>	782,7754 <sup>**</sup>	0,7967 <sup>**</sup>	1,7123 <sup>**</sup>	1,9039 <sup>**</sup>
V x EL	3	0,0115 <sup>ns</sup>	0,0059 <sup>ns</sup>	0,0070 <sup>ns</sup>	0,0881 <sup>ns</sup>	0,0779 <sup>ns</sup>	0,0166 <sup>ns</sup>	11,8740 <sup>ns</sup>	11,5596 <sup>ns</sup>	0,0067 <sup>ns</sup>	0,1370 <sup>ns</sup>	0,0824 <sup>ns</sup>
V x EP	2	0,1675 <sup>ns</sup>	0,0067 <sup>ns</sup>	0,0084 <sup>ns</sup>	0,0594 <sup>ns</sup>	0,0299 <sup>ns</sup>	0,0160 <sup>ns</sup>	12,3896 <sup>ns</sup>	7,1726 <sup>ns</sup>	0,0115 <sup>ns</sup>	0,0952 <sup>ns</sup>	0,0536 <sup>ns</sup>
EL x EP	6	0,0401 <sup>ns</sup>	0,0499 <sup>ns</sup>	0,0284 <sup>ns</sup>	0,0601 <sup>ns</sup>	0,0449 <sup>ns</sup>	0,0339 <sup>ns</sup>	65,3189 <sup>ns</sup>	87,1897 <sup>ns</sup>	0,0157 <sup>ns</sup>	0,0832 <sup>ns</sup>	0,0698 <sup>ns</sup>
V x EL x EP	6	0,0424 <sup>ns</sup>	0,0101 <sup>ns</sup>	0,0141 <sup>ns</sup>	0,0757 <sup>ns</sup>	0,0753 <sup>ns</sup>	0,0238 <sup>ns</sup>	27,3214 <sup>ns</sup>	29,6176 <sup>ns</sup>	0,0106 <sup>ns</sup>	0,1307 <sup>ns</sup>	0,0971 <sup>ns</sup>
Erro	69	0,0631	0,0341	0,0323	0,0669	0,0623	0,0323	50,2296	54,8012	0,0119	0,1058	0,0719
Total	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV	-	12,04	43,71	4,63	14,08	7,36	13,87	28,81	25,08	12,74	14,19	10,31

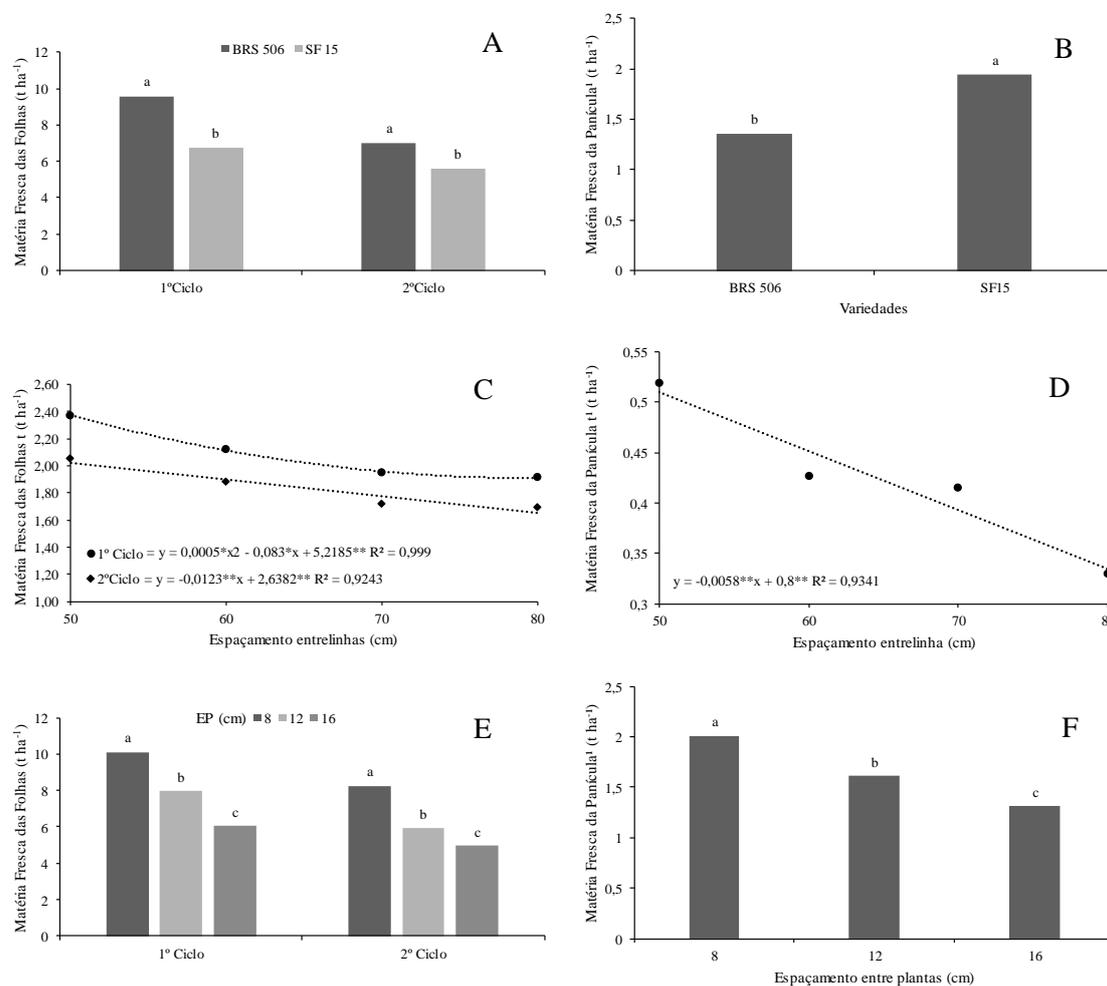
FV: fatores de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação; ns, \*\*, \*, respectivamente, não significativo, significativo a 1% e a 5% de probabilidade de erro pelo teste F da análise de variância (ANOVA). t: foram submetidos à transformação Box Cox.<sup>1</sup>(ciclo 1); <sup>2</sup>(ciclo 2).

Considerando as variedades, quanto à MFF e MSP (Figura 2A e 2B), observa-se que para a matéria fresca das folhas, no primeiro ciclo, a variedade BRS 506, apresentou uma média de  $9,57 \text{ t ha}^{-1}$ , enquanto a variedade SF 15 uma média de  $6,76 \text{ t ha}^{-1}$ , notando-se uma superioridade de 41,5% para a BRS 506. No segundo ciclo, a BRS 506 produziu em média  $7,01 \text{ t ha}^{-1}$  de MFF, enquanto a SF 15 apresentou uma média de  $6,76 \text{ t ha}^{-1}$ . Já a matéria fresca da panícula, no primeiro ciclo, a variedade SF 15 obteve a maior média,  $1,94 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 2B)

Na Figura 2C, observa-se o comportamento da MFF em relação aos espaçamentos entrelinha nos dois anos de cultivo, onde o menor espaçamento resultou em maiores médias, sendo  $10,7 \text{ t ha}^{-1}$  no primeiro ciclo e  $7,77 \text{ t ha}^{-1}$  no segundo ciclo. Nota-se que nos diferentes espaçamentos avaliados as maiores médias foram observadas no primeiro ano de cultivo. A MFP, no primeiro ciclo, apresentou no espaçamento entrelinha de 50 cm  $1,87 \text{ t ha}^{-1}$  e uma superioridade de 27,3% em relação ao maior espaçamento estudado, ou seja, 80 cm (Figura 2D).

Para a MFF quanto ao espaçamento entre plantas (Figura 2E), nota-se que o menor espaçamento (8 cm) favoreceu tal característica, apresentando no primeiro e segundo ciclo médias de 10,11 e  $8,25 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente. Comportamento que também foi observado na MFP, observado no primeiro ciclo de cultivo (Figura 2F), onde o menor espaçamento entre plantas apresentou média de  $2,01 \text{ t ha}^{-1}$ .

**Figura 2:** Matéria fresca das folhas (MFF) e da panícula (MFP) de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio produzido no semiárido (Pentecoste-CE).



1º: primeiro ciclo; 2º: segundo ciclo, \*, \*\*: respectivamente, significância pelo teste F quando significativo ao nível 5% e significativo ao nível de 1%. EP: espaçamento entre plantas. t: Transformação de dados pelo sistema Box Cox ( $\lambda = 0$  (MFF<sup>1</sup>),  $\lambda = 0$  (MFF<sup>2</sup>) e  $\lambda = -0,47979798$  (MFP<sup>1</sup>)).

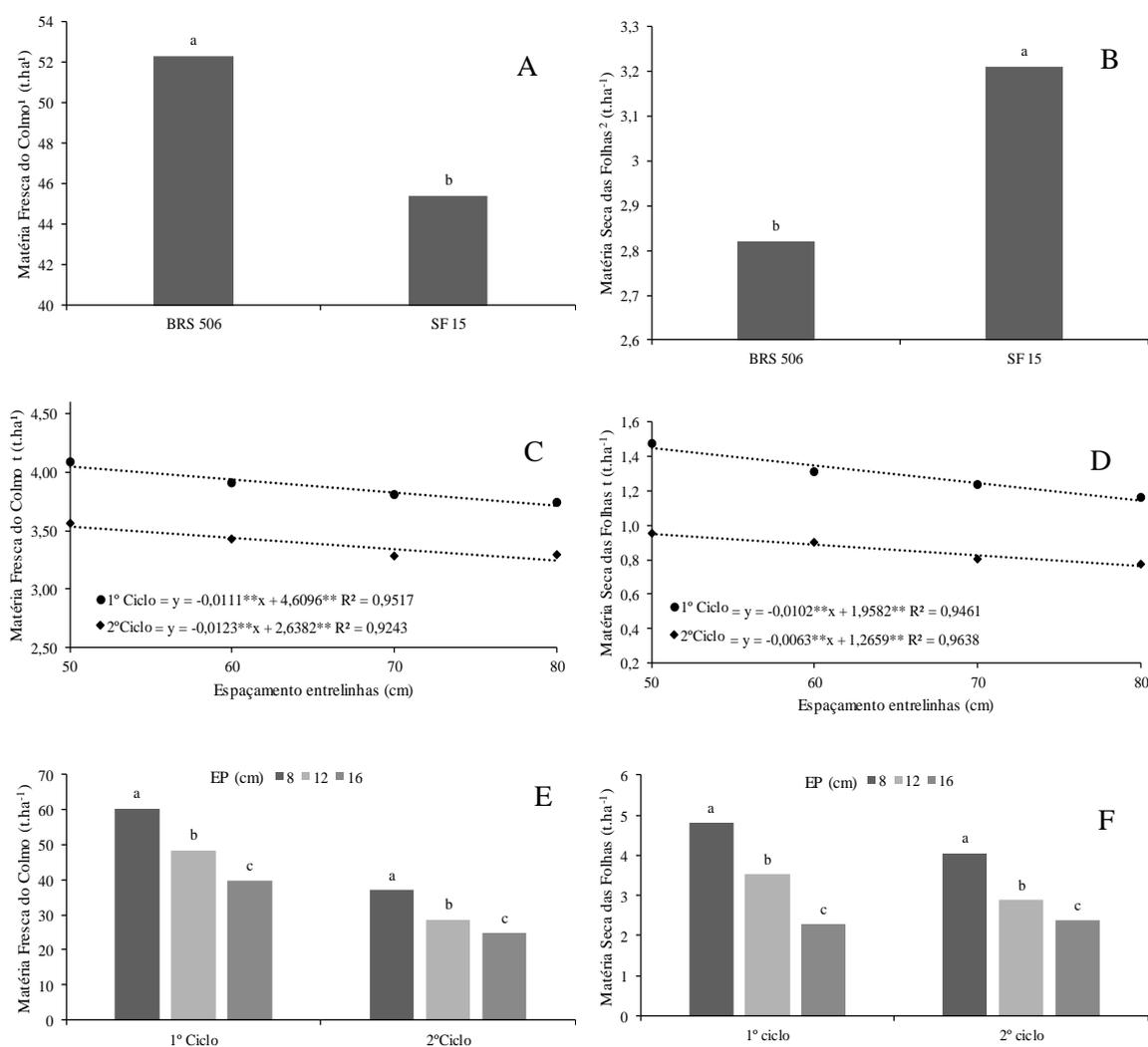
Verifica-se na Figura 3A que a média da matéria fresca do colmo, no primeiro ciclo, foi superior para a variedade BRS 506, com 52,3 t ha<sup>-1</sup>, enquanto a variedade SF 15 apresentou média de 45,4 t ha<sup>-1</sup>. Na Figura 3C, estão os dados referente a MFC em relação aos espaçamento entrelinhas analisados, nota-se que no menor espaçamento resultou nas maiores médias, observadas nos dois anos de cultivo, sendo 59,37 t ha<sup>-1</sup> no primeiro ciclo e 35,16 t ha<sup>-1</sup> no segundo ciclo. No menor espaçamento entre plantas foram obtidas as maiores médias, sendo 60,4 t ha<sup>-1</sup> no primeiro ciclo e 36,97 t ha<sup>-1</sup> no segundo ciclo, apresentando uma superioridade de 63,4% (Figura 3E).

Observando as variedades em relação a matéria seca das folhas (Figura 3B), no segundo ciclo de cultivo, nota-se que a variedade SF 15 apresentou a maior média (3,21 t ha<sup>-1</sup>), uma superioridade de 13,8% em comparação a variedade BRS 506.

O menor espaçamento entrelinhas (50 cm), no primeiro e segundo ciclos analisados, favoreceu para maior média de MSF, sendo 4,39 e 3,55 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No primeiro ciclo, onde foram observadas as maiores médias, a diferença entre o menor espaçamento analisado e o maior foi em torno de 1,19 t ha<sup>-1</sup> (Figura 3D).

Na Figura 3F, observa-se que o menor espaçamento entre plantas (8 cm) apresentou as médias superiores no primeiro (4,81 t ha<sup>-1</sup>) e no segundo ciclo (4,06 t ha<sup>-1</sup>).

**Figura 3:** Matéria fresca do colmo e matéria seca da folha de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio produzido no semiárido (Pentecoste - CE).



2: segundo ciclo, \*, \*\*: respectivamente, significância pelo teste F quando significativo ao nível 5% e significativo ao nível de 1%. EP: espaçamento entre plantas. t: Transformação de dados pelo sistema Box Cox ( $\lambda = 0$  (MSC<sup>2</sup>),  $\lambda = 0$  (MSF<sup>1</sup>),  $\lambda = -0,47979798$  (MSF<sup>2</sup>))

Os resultados referentes a matéria seca do colmo estão expostos na Figura 4. No primeiro ciclo, a variedade BRS 506 apresentou a maior média ( $29,51 \text{ t ha}^{-1}$ ), enquanto a variedade SF 15 se sobressaiu no segundo ciclo de cultivo, apresentando média de  $11,02 \text{ t ha}^{-1}$ . A superioridade observada para a BRS 506 de um ciclo para o outro foi de 233,4% (Figura 4A).

O espaçamento entre plantas que favoreceu a produção de matéria seca do colmo foi o de 8 cm, como nas demais variáveis até aqui estudadas, apresentando médias para o

segundo ciclo de produção de 12,55 t ha<sup>-1</sup>. Não houve diferença significativa entre os espaçamentos de 8 e 12 cm no primeiro ciclo (Figura 4B).

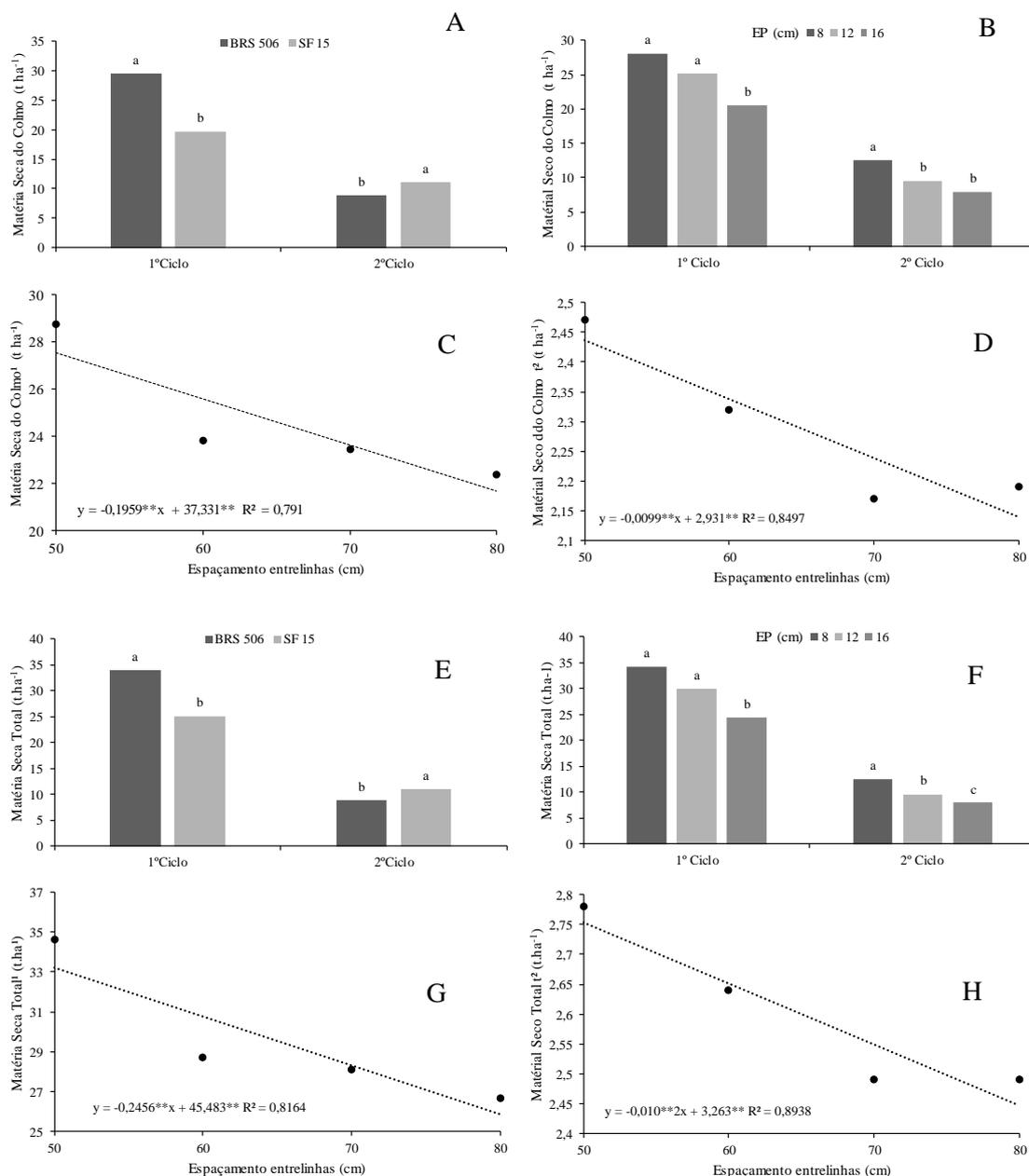
Nas Figuras 4C e 4D encontram-se a representação gráfica da equação de regressão para a matéria seca do colmo em função do espaçamento entrelinhas, no primeiro e segundo ciclo. Nota-se que no menor espaçamento foram obtidas as maiores médias, sendo de 28,76 t ha<sup>-1</sup> no primeiro ciclo e de 11,82 t ha<sup>-1</sup> (Figura 4C) no segundo ciclo (Figura 4D).

Ainda na Figura 4, estão representados os valores de matéria seca total. Semelhantes ao comportamento da MSC, a variedade que apresentou maior média foi a BRS 506 nas condições do primeiro ano de cultivo, apresentando uma média de 33,95 t ha<sup>-1</sup>. Já no segundo ciclo, a SF 15 apresentou a maior média com 14,71 t ha<sup>-1</sup> (Figura 4E).

Na Figura 4F observa-se que no primeiro ciclo não houve diferença significativa entre as médias obtidas no espaçamento de 8 e 12 cm entre as plantas, sendo respectivamente, 34,27 e 29,88 t ha<sup>-1</sup>. Porém no segundo ciclo, o menor espaçamento favoreceu a produção de matéria seca total, apresentando uma média de 12,55 t ha<sup>-1</sup>.

O menor espaçamento entrelinhas proporcionou os maiores valores das médias de MST no primeiro e no segundo ciclo, como podem ser observados nas Figuras 4G e 4H à medida que se aumentou o espaçamento o volume de MST diminuiu, tendo-se uma redução de 7,97 t ha<sup>-1</sup> no primeiro ciclo, entre o menor e o maior espaçamento analisado, e de 4,04 t ha<sup>-1</sup> no segundo ciclo.

**Figura 4:** Matéria seca do colmo (MSC) e matéria seca total (MST) de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio produzido no semiárido (Pentecoste-CE).



1º: primeiro ciclo; 2º: segundo ciclo, \*, \*\*: respectivamente, significância pelo teste F quando significativo ao nível 5% e significativo ao nível de 1%. EP: espaçamento entre plantas. t: Transformação de dados pelo sistema Box Cox ( $\lambda = 0$  (MST<sup>2</sup>),  $\lambda = 0$  (MSC<sup>2</sup>)).

## DISCUSSÃO

As mudanças que atualmente são observadas e discutidas acerca das condições climáticas no mundo, podem gerar impactos e alterações importantes nos biomas, na biodiversidade e na agricultura. Do ponto de vista agrônomo, a mudança na quantidade de precipitação, e a oscilação entre chuva forte e seca, causará alterações no sistema de

manejo adotado hoje para diversas culturas (Bianchi; Germino; Silva, 2016). Comprovando essa oscilação, foi observado durante o período do primeiro ensaio, uma precipitação acumulada de 652,6 mm e as temperaturas se mantiveram entre 27,5 e 36 °C. Enquanto no segundo ensaio observou-se precipitação acumulada durante o experimento de 284,8 mm e temperaturas entre 21,3 e 38,1 °C (Figura 1 - Anexo).

Diante dessas duas realidades, o presente ensaio mostrou o comportamento das variedades, no primeiro ano, com uma quantidade de chuva recomendada para um cultivo adequado e no segundo, ano abaixo do recomendado, sendo que a literatura recomenda, como ideal, uma precipitação entre 375 e 625 mm para a cultura do sorgo sacarino (BUSO, et al., 2011). Corroborando com trabalho desenvolvido por Albuquerque et al. (2011) com o sorgo nos espaçamentos de 50 e 70 cm entrelinhas, nas condições do norte de Minas Gerais, verificaram ser necessário, para uma produtividade satisfatória, uma precipitação acima de 500 mm durante o ciclo da cultura.

Considerando a produtividade média de fitomassa dos experimentos individualmente para cada ano de cultivo, constatou-se que no primeiro ano a variedade BRS 506 apresentou os melhores resultados, com uma superioridade de matéria fresca total na ordem de 14,2% em relação a variedade SF 15 (Tabela 3) e de matéria fresca do colmo de 15,2% (Figura 3A). A matéria fresca é uma característica muito importante a ser considerada no sorgo sacarino e reflete diretamente no volume do caldo (PEREIRA FILHO et al., 2013). Porém, o teor de açúcar no caldo e sua conversão para etanol depende de fatores ambientais, da variedade, tempo de colheita e eficiência de transporte e processos de conversão industrial, uma vez que há sempre uma correlação positiva entre essas duas características. Vale ressaltar que a média nacional de produtividade do fitomassa total para o sorgo sacarino é de 50 t ha<sup>-1</sup> (Lima; Santos; Garcia, 2011) e os valores médios obtidos nesse experimento, conduzido em sequeiro na caatinga cearense, no primeiro ciclo para variedade BRS 506 foi de 70,78 t ha<sup>-1</sup>, sendo assim bastante satisfatórios.

Valores inferiores de fitomassa foram observados em trabalhos desenvolvidos em duas regiões no nordeste do México, conduzidos em regime irrigado por Alanís et al. (2017), visando avaliar as características agrônômicas de diferentes genótipos de sorgo sacarino, observaram médias de peso fresco de biomassa de 44,37 t ha<sup>-1</sup> e peso fresco de caule de 35,43 t ha<sup>-1</sup>.

No segundo ciclo de cultivo, a variedade SF 15 foi mais tolerante às condições adversas da região de estudo, porém, as melhores médias obtidas por ela estavam abaixo

dos valores médios nacionais. Para a matéria seca do colmo da variedade SF 15 a média foi de 11,02 t ha<sup>-1</sup>, enquanto que nas condições do primeiro ciclo a mesma variedade apresentou uma superioridade de 78,6% (Figura 4A).

Podendo ser justificada, essa superioridade da SF 15 em relação a BRS 506, nas condições climáticas do segundo ciclo, por se tratar de uma variedade desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA-PE) para ser plantada em condições de semiárido nordestino (SEAGRI/DIPAP, 2008). Tabosa et al. (2010) avaliaram a produção de biomassa da variedade SF 15, no semiárido, relatam que o rendimento de biomassa (produção de matéria verde total e de colmo) foram superiores às variedades sacarinas tradicionais e a variedade IPA 467-4-2, podendo ser recomendada para toda região Semiárida e áreas similares.

Definir um arranjo de plantas ideal, nas condições edafoclimáticas do semiárido nordestino, é de extrema importância, para que fatores essenciais e, muitas vezes, pouco disponíveis, como a água, a radiação solar e os nutrientes do solo sejam mais eficientemente explorados pela cultura (ALBUQUERQUE et al., 2011). Rendimentos satisfatórios de biomassa para a cultura do sorgo sacarino são influenciados pelos diferentes arranjos de plantas, Mekdad & Rady (2016) avaliando cinco variedades de sorgo sacarino em ambientes secos no sudeste do Egito, verificaram que, nas condições do estudo, a variedade Brandes se destacou das demais, e deve ser cultivada na maior taxa de planta densidade (166.000 planta.ha<sup>-1</sup>).

No presente experimento o menor espaçamento entrelinhas favoreceu a produção de biomassa nos dois anos de cultivo, porém, nas condições climáticas do primeiro ano, os valores das médias para todas as variáveis analisadas foram superiores. Pereira-Filho et al. (2013) avaliaram diferentes cultivares de sorgo sacarino e densidades de semeadura e verificaram que o aumento da densidade de semeadura proporcionou maior produtividade de massa verde, corroborando com os resultados deste ensaio, vale ressaltar que os valores observados de matéria fresca total, foi de 80,62 t ha<sup>-1</sup>, no primeiro ciclo, e de 45,39 t ha<sup>-1</sup> no segundo ciclo (Tabela 3), apresentando uma superioridade de 78%.

Nas condições do segundo ciclo, com uma precipitação de 284,8 mm (Figura 1), foram observados 16,12 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca total no espaçamento de 50 cm (Figura 4H). Tang et al. (2017) avaliando o sorgo sacarino em diferentes densidades de plantio, em região semiárida da China, com uma precipitação média de 348,3 mm, observaram que nas maiores densidades (10,5 plantas m<sup>2</sup>) foram obtidas as maiores produtividades de biomassa seca, sendo 11,9 t ha<sup>-1</sup>.

Presume-se que plantas com maior quantidade de folhas ou maior peso, apresentem uma maior taxa fotossintética e consequentemente melhor desempenho em relação ao transporte de fotoassimilados (PACHECO et al., 2011), sendo os menores espaçamentos os que obtiveram as maiores médias para massa fresca de folhas (Figura 2C), e consequentemente as maiores médias de MFC (Figura 3C) e MST (Figura 4G e 4H). Trabalhos desenvolvidos com sorgo sacarino, na Índia, numa região de clima tropical com estação seca, Sahu; Nandeha (2018) observaram melhor desempenho no menor espaçamento utilizado (50 x 15 cm), apresentando uma média para biomassa verde de 25,77 t ha<sup>-1</sup>, valores inferiores aos relatados no presente experimento.

No tocante ao espaçamento entre plantas, nas menores distâncias (8 e 12 cm) foram observados os maiores valores, em ambos os ciclos, ressaltando as médias encontradas para matéria fresca total que apresentou uma superioridade de 70% do primeiro para o segundo ciclo de produção (Tabela 3). E para matéria fresca do colmo, parte da planta de suma importância levando em consideração ser a parte onde estão armazenados os açúcares, responsável para a futura produção de etanol, observou um incremento no primeiro ciclo de 20,8 t ha<sup>-1</sup>, do menor para o maior espaçamento entre plantas avaliado (Figura 3E). Fernandes et al. (2014) não observaram diferença significativa do fator população de plantas na massa fresca de colmos, para o sorgo sacarino BRS 506 cultivado em Sete Lagoas (MG).

As maiores médias observadas no primeiro ano de cultivo possivelmente ocorreu devido às melhores condições climáticas, principalmente a quantidade de chuva durante o período do experimento, resultando em plantas bem desenvolvidas, com maiores ganhos em variáveis quantitativas e qualitativas. Os melhores resultados, obtidos nos menores espaçamentos adotados, deveu-se pela maior quantidade de plantas por área plantada, influenciando assim no acréscimo da quantidade de biomassa, corroborando com vários autores supracitados. Salienta-se que os valores demonstrados nesse ensaio, são de grande relevância para futuras perspectivas de cultivo do sorgo sacarino em regiões de semiárido, com satisfatório desempenho.

## CONCLUSÕES

A variedade de sorgo sacarino BRS 506 é indicada para produção de fitomassa nas condições do semiárido nordestino. Para qual a densidade de plantas exibiu um efeito pronunciado na produtividade da cultura em espaçamento de 50 x 8 cm, permitindo maior produções de fitomassa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALANÍS, H. W.; GARCÍA, F. Z.; CAVAZOS, G. A.; VÁZQUEZ, M. D. C. R.; SÁENZ, E. O. Características agronómicas asociadas a la producción de bioetanol en genotipos de sorgo dulce. **Agronomía Mesoamericana**, v. 28, n. 3, p. 549–563, 2017.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; PINHO, E. G. V.; RODRIGUES, J. A. S.; BRANT, R. S.; MENDES, M. C. Espaçamento e densidade de semeadura para cultivares de sorgo granífero no semiárido. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 278–285, 2011.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; PARRELLA, F. D.; GUIMARÃES, R. A. C.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, R. M.; JESUS, K. M. Sweet sorghum in different row spacing and plant densities in Minas Gerais State, Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 1, p. 69–65, 2012.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum : A review. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 1, p. 69–65, 2012.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. D. A. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, p. 15–32, 2016
- BUSO, W. H. D.; MORGADO, H. S.; SILVA, L. B.; FRANÇA, A. F. S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **Revista PUBVET**, v. 5, p. 1-29, 2011.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. CONAB, n. 3, p. 1–77, 2017.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Bras, p: 353.
- Estatcamp. Software Action, 2016. Disponível em:  
<<http://www.estatcamp/empresa/software-action>>
- 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. 6, p. 1039–1042, 2011.
- FISCHER-FILHO, J. A.; GOMES, G. G. C.; BOLONHEZI, A. C.; OLIVEIRA, J. A.V. SANTOS, B. T. R. R. Sacarino Characteristics of Growth of Hybrid Sorghum. **Ciência & Tecnologia**: Fatec-JB, Jaboticabal, v. 6, p. 11–15, 2014.
- JAISSWAL, D.; SOUZA, A. P.; LARSEN, S.; LEBAUER, D. S.; MIGUEZ, F.E.; SPAROVEK, G.; BOLLERO, G.; BUCKERIDGE, M. S.; LONG, S. P. Brazilian

sugarcane ethanol as an expandable green alternative to crude oil use. **Nature Climate Change**. v. 7, p. 788–792, 2017.

LESSA, B. F. T. **AVALIAÇÕES AGRONÔMICAS DE SORGO SACARINO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL NO SEMIÁRIDO: MATURAÇÃO E RESPOSTAS AO SILÍCIO**. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - UFC. Fortaleza, p. 99, 2015.

LIMA, A. M.; SANTOS, D. T.; GARCIA, J. C. Viabilidade econômica e arranjos produtivos. **Agroenergia em Revista**. v. 3, p. 43–45, 2011.

LOZANO, E. D. V.; BLANCO, L. M.; ALCANTARA, G. U.; NOGUEIRA, L. C.; CIARAMELLO, S.; COSTA, G. H. G. Effect of application of flowering inhibitor on sweet sorghum. **African Journal of Agricultural Research**. v. 13, n.4, p. 196–201, 2018.

MEKDAD, A. A. A.; RADY, M. M. Productivity Response to Plant Density in Five *Sorghum bicolor* Varieties in Dry Environments. **Annals of Agricultural & Crop Sciences**, v. 1, n. 2, p. 1–7, 2016.

PACHECO, L. P., LEANDRO, W.M., MACHADO, P.L.O.A., ASSIS, R.L., COBUCCI, T., MADARI, B.E., PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v. 46, p. 17–25, 2011.

PEREIRA-FILHO, I. A.; PARRELLA, R. C.; MOREIRA, J. A. A.; MAY, A.; SOUZA, V. F.; CRUZ, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira Milho e Sorgo**. v. 12, p. 118-127, 2013.

RAO, S. S.; PATIL, J. V.; PRASAD, P. V. V.; REDDY, D. C. S.; MISHRA, J. S.; UMAKANTH, A. V.; REDDY, B. V. S.; KUMAR, A. A. Sweet sorghum planting effects on stalk yield and sugar quality in semi-arid tropical environment. **Agronomy Journal**. v. 105, p. 1458-1465, 2013.

SAHU, H., NANDEHA, N. Effect of planting density and levels of nitrogen on yield and yield attributes of sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) Varieties. **International Journal of Chemical Studies**. v. 6, p. 2098–2101, 2018.

SEAGRI/DIPAP. **Sorgo Forrageiro SF 15**, 2008.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. **Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance**. In: WORLUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, J. M. F., DUTRA, A. S., CAMARA, F. T., PINTO, A. A., SILVA, F. E. Row spacing, plant density, sowing and harvest times for sweet sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 4, p. 408–415, 2017a..

TABOSA, J. N. REIS, O.V., NASCIMENTO, M.M.A., LIMA, J.M.P., SILVA, F.G.,

SILVA-FILHO, J.G., BRITO, A.R.M.B., RODRIGUES, J.A.S. O Sorgo Sacarino no Semi-Árido Brasileiro: Elevada Produção de Biomassa e Rendimento de Caldo. In: XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010, Goiânia : Associação Brasileira de Milho e Sorgo. CD-Rom 2179, v. Anais...Go, p. 2179–2186. 2010.

TANG, C., SUN, C., DU, F., CHEN, F., AMEEN, A. Effect of Plant Density on Sweet and Biomass Sorghum Production on Semiarid Marginal Land. **Sugar tech.** v. 2, p. 312–322, 2017.

## 7. CAPÍTULO 3: POTENCIAL DO CALDO DE SORGO SACARINO COMO FONTE DE ETANOL PARA REGIÕES DO SEMIÁRIDO: VARIEDADES E EFEITO DO ARRANJO ESPACIAL<sup>3</sup>

**Resumo:** Com o objetivo de avaliar o potencial do caldo de duas variedades de sorgo sacarino, como fonte de etanol em função do arranjo espacial, a pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental Vale do Curu pertencente à Universidade Federal do Ceará, Pentecoste – CE. Foram realizados dois ciclos agrícolas (2015 e 2016), em Planossolo de textura franco arenosa e em regime de sequeiro. As variedades utilizadas foram BRS 506 e SF 15, sendo avaliados espaçamentos entrelinhas (50, 60, 70 e 80 cm) e entre plantas (8, 12 e 16 cm), em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições e em esquema fatorial triplo. Foram analisados o rendimento (RC) e peso do caldo (PC), o conteúdo de sólidos solúveis totais (SST-°Brix), carboidratos solúveis totais (CST) e etanol. Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade da variância, teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (5%) para dados não normais, análise de variância (ANOVA) com teste de Tukey (5%) para comparação de médias e regressão polinomial para analisar o espaçamento entrelinha. A variedade BRS 506 apresentou média de 140,02 g L<sup>-1</sup> de CST, uma produção média de 4.157,85 L ha<sup>-1</sup> de etanol, no primeiro ciclo. O menor espaçamento entrelinhas favoreceu as variáveis estudadas, sendo justificado pela maior quantidade de massa fresca total obtida no menor espaçamento. A variedade de sorgo sacarino BRS 506 é indicada para produção de etanol nas condições do semiárido nordestino, sendo utilizado o espaçamento de 50 cm entrelinhas e 8 cm entre plantas.

**Palavras-Chaves:** Densidade populacional. Biocombustíveis. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Semiárido.

### POTENTIAL OF SWEET SORGHUM JUICE AS A SOURCE OF ETHANOL FOR SEMIARID REGIONS: VARIETIES AND SPACING ARRANGEMENT EFFECTS

**Abstract:** In order to evaluate the potential of the broth of two varieties of sorghum, as a source of ethanol as a function of the spatial arrangement, the research was conducted at the Curu Valley Experimental Farm belonging to the Federal University of Ceará, Pentecoste - CE. Two agricultural cycles (2015 and 2016) were carried out in Planosol of sandy loam texture and under dry conditions. The varieties used were BRS 506 and SF 15, and spacings between the lines (50, 60, 70 and 80 cm) and between plants (8, 12 and 16 cm) were evaluated in a randomized complete block design with four replications and in a triple factorial scheme. The yield (CR) and broth weight (CP), total soluble solids content (SST-°Brix), total soluble carbohydrates (CST) and ethanol were analyzed. The data were submitted to normality and homogeneity of variance tests, Kruskal-Wallis non-parametric test (5%) for non-normal data, analysis of variance (ANOVA) with Tukey's test (5%) for comparison of means and polynomial regression to analyze the line spacing. The BRS 506 variety presented a mean of 140.02 g L<sup>-1</sup> of CST, an average yield of 4,157.85 L ha<sup>-1</sup> ethanol, in the first cycle. The smaller line spacing favored the studied variables, being justified by the greater amount of total fresh mass obtained in the smaller spacing. The BRS 506 sorghum variety is indicated for the production of ethanol in the northeastern semiarid conditions, using a spacing of 50 cm between rows and 8 cm between plants.

<sup>3</sup> Artigo publicado online em Sugar Tech, <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0637-8> (2018).

**Keywords:** Population density. Biofuels. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Semi-arid.

## INTRODUÇÃO

Com a real demanda e dependência mundial por combustíveis fósseis, o esgotamento desse recurso petrolífero é inevitável. Sendo necessário o avanço e consolidação de um sistema energético renovável, sustentável, rentável e seguro. Dessa maneira, nos últimos anos é notório um esforço significativo para identificar, desenvolver e comercializar fontes de energia alternativas, que apresentem custo e tecnologias eficazes, como o etanol (CIFUENTES; BRESSANI; ROLZ, 2014).

O processo de ascensão do etanol no Brasil, deu-se na década de 70, em função do programa Proálcool, acarretando um maior investimento do setor privado nessa produção, tendo como principal matéria-prima a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) O etanol pode ser utilizado como combustível na forma hidratada (96%) ou adicionado à gasolina, com atuais 27% de etanol anidro (99,6%) em sua composição (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).

Nesta vertente o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) surge como mais uma opção na produção de etanol, apresentando metabolismo C4, com elevada eficiência fotossintética (DALVI et al., 2012), podendo ser adaptado a diferentes climas (temperados e tropicais) e, capacidade para crescer em áreas marginais. Assemelha-se a cultura da cana-de-açúcar, armazenando o açúcar nos colmos e seu bagaço pode ser utilizado para produção de energia na indústria, para a alimentação animal, adubação orgânica, fabricação de papel, produção de etanol de segunda geração através da conversão bioquímica da celulose presente no bagaço.

Por apresentar ciclo vegetativo relativamente curto (120 a 130 dias), é uma alternativa viável para cultivo no período de entressafra da cana-de-açúcar. Sendo aproveitada a mesma estrutura agroindustrial e sendo cultivada no início da safra (QUEIROZ et al., 2013), período de menor oferta de cana madura (DURÃES; MAY; PARRELLA, 2012).

Uma característica marcante do sorgo, quando comparado com a cana-de-açúcar, é sua alta eficiência na absorção da radiação solar e conversão do CO<sub>2</sub> em fotoassimilados. No entanto, a eficiência desse processo na produção e qualidade do caldo para agroindústria, pode ser afetada por fatores edafoclimáticos e pelo manejo da cultura,

sendo destacado neste último a densidade e arranjo de plantas (DURÃES; MAY; PARRELLA, 2012).

Estudos revelam que a redução do espaçamento entrelinhas na cultura do sorgo sacarino resulta em ganhos de caracteres agrônômicos, de importância para a produção de etanol (ALBUQUERQUE et al., 2012; DURÃES; MAY; PARRELLA, 2012; FERNANDES et al., 2014). Para população de plantas, o resultado dos estudos nem sempre indica efeito sobre as principais variáveis de produção, em decorrência da variação ambiental e pelos distintos espaçamentos avaliados em cada estudo (DURÃES; MAY; PARRELLA, 2012; EMYGDIO et al., 2012; FERNANDES et al., 2014). Na biomassa, quando a colheita é realizada com colmos limpos, geralmente, tem proporcionado maior produção e melhor qualidade do caldo em relação àquele obtido de colmos com palha ou da colheita integral das plantas (EMYGDIO et al., 2012; MUTTON et al., 2015)

Neste sentido, o presente trabalho objetivou avaliar o potencial do caldo de duas variedades de sorgo sacarino, como fonte de etanol em função do arranjo espacial na região da caatinga do estado do Ceará.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Localização e condições climáticas*

O ensaio foi instalado na Fazenda Experimental Vale do Curu pertencente à Universidade Federal do Ceará, Pentecoste – CE (coordenadas UTM 462620 E; 9577349 S e altitude de 48 m) em Planossolo de textura franco arenosa (EMBRAPA, 2013). Foram realizados dois ciclos agrícolas, o primeiro ciclo de cultivo foi instalado entre os meses de março a julho de 2015, período que compreende a estação chuvosa na região, com semeadura manual realizada em sete de março. O experimento foi repetido no ano de 2016, semeando-se em dezoito de março e estendendo-se até o mês de junho.

A região apresenta clima BSw'h', isto é, semiárido com chuvas irregulares (ALVARES et al., 2014). Os dados meteorológicos referentes aos períodos do experimento encontram-se nas Figura 1 (Anexo).

### *Materiais vegetas e preparo da área experimental*

As variedades utilizadas foram BRS 506, adquirida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, unidade Milho e Sorgo, situada na cidade de Sete Lagoas/MG e SF-15, cedidas pelo Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA.

O preparo do solo foi realizado com aração seguida de gradagem. De acordo com a análise do solo (Anexo-Tabelas 1<sup>1</sup> e 2<sup>2</sup>) da área do experimento e recomendações de Durões; May; Parrella (2012) no momento da semeadura, para ambos os anos, foi realizada adubação de fundação com 30, 50 e 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, tendo-se como fontes para cada nutriente os adubos minerais ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Aos vinte dias após a semeadura foi realizada uma adubação de cobertura com 140 e 45 kg ha<sup>-1</sup> de N e K<sub>2</sub>O, respectivamente.

### *Desenho e condução experimental*

Para ambas as variedades (BRS 506 e SF-15) foram analisados os espaçamentos entrelinhas de 50, 60, 70 e 80 cm, e entre plantas de 8, 12 e 16 cm, tendo assim diferentes populações de plantas por hectares. Dessa maneira, o experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial triplo (duas variedades, quatro espaçamentos entrelinhas e três entre plantas). Perfazendo uma área total de 1.248 m<sup>2</sup>, com quatro blocos de 312 m<sup>2</sup> e unidades amostrais variam de 10 a 16 m<sup>2</sup> de acordo com o tratamento. Cada unidade de amostragem foi constituída de quatro linhas de cinco metros, sendo as duas linhas centrais a área útil da parcela.

### *Coleta de dados e variáveis analisadas*

O material foi colhido do campo quando atingiu a maturação fisiológica, aos 110 dias após a semeadura para a variedade BRS 506 (LESSA, 2015) e aos 130 dias para a variedade SF-15 (SEAGRI/DIPAP, 2008). Foram coletadas aleatoriamente em cada unidade amostral, oito plantas das linhas úteis, para retirada de folhas e panículas para composição das amostras de colmos limpos. Posteriormente o caldo foi extraído em moenda elétrica de cana simples (1 cv) para determinação do rendimento em volume (RC), com extrapolação para m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, e determinação do peso do caldo (PC) utilizando-se uma balança de 15 kg, dados extrapolados para kg ha<sup>-1</sup>.

Do caldo extraído nesse processo, após a determinação do RC e PC, foi mensurado o conteúdo de sólidos solúveis totais (SST-°brix), com auxílio de um refratômetro portátil

graduado (0 – 32 °brix). Em seguida o caldo foi colocado em frascos de plásticos (100 mL) e armazenado em freezer para análises posteriores.

Em laboratório foram determinados os carboidratos solúveis totais (CST) em  $\text{g L}^{-1}$ , da seguinte maneira, a amostra de trabalho (extrato de caldo) foi preparada através da filtragem do caldo em chumaço de algodão e diluindo-o em água destilada (100 vezes); em seguida, foi submetido ao método colorimétrico do fenol + ácido sulfúrico (DUBOIS et al., 1956) com modificações, seguido de leitura da absorbância em espectrofotômetro de elisa (490 nm) e comparação por curva padrão de glicose anidra (98%).

A produção estimada de etanol ( $\text{L ha}^{-1}$ ) foi determinada através da equação postulada por Lipinski (1978) apud (SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI et al., 2007), em que o etanol ( $\text{L ha}^{-1}$ ) = carboidratos totais (%) x 6,5 (fator de conversão) x 0,85 (eficiência do processo fermentativo) x biomassa fresca ( $\text{t ha}^{-1}$ ).

#### *Análises estatísticas*

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade das variâncias e quando atenderam a tais pressuposições foi feita análise de variância (ANAVA) com teste de Tukey (5%) para as variedades e espaçamento entre plantas; e regressão polinomial nos espaçamentos estrelinhas. Quando os dados não atenderam, a pelo menos uma das pressuposições, estes foram submetidos ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, com comparações múltiplas por pares quando p-valor  $\leq 0,05$  e nível de significância a 5% (CST<sup>1/2</sup>, SST<sup>1</sup> e Etanol<sup>1</sup>).

As variáveis rendimento e peso do caldo do 1º e 2º ciclos (RC<sup>1/2</sup> e PC<sup>1/2</sup>) e etanol<sup>2</sup> foram submetidas a transformação de dados através do sistema Boxcox, o que possibilitou o ajuste dos dados para realização da ANAVA.

As estatísticas foram feitas nos softwares Action 2.7 (ESTATCAMP, 2016) para transformação Box-cox, teste de Bartlett (teste de variância) e teste de Kruskal-Wallis; Assistat 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009) para os testes de normalidade; e Sisvar 5.3 Build 77 (FERREIRA, 2011) para ANAVA com Tukey ou regressão.

## **RESULTADO**

Os dados carboidratos sólidos totais, sólidos solúveis totais e etanol (Tabela 3), revelaram que a variedade BRS 506 apresentou os melhores resultados. Carboidratos solúveis totais, nos dois ciclos, apresentando 140,02 e 159,73  $\text{g L}^{-1}$ , respectivamente, e, no primeiro ciclo a BRS 506 apresentou um °Brix de 16,88 e produção de etanol de

4.157,85 L ha<sup>-1</sup>. Já para o espaçamento entrelinhas (EL) e espaçamento entre plantas (EP) não foi observada diferença entre os tratamentos. Apesar disso, o etanol apresentou os maiores resultados na menor densidade de plantio, 250.000 plantas por hectare, obtendo-se 4.142,09 L ha<sup>-1</sup> para o EL e 3.988,48 L ha<sup>-1</sup> para o EP.

**Tabela 3:** Carboidratos sólidos totais (CST<sup>1e2</sup>), sólidos solúveis totais (SST<sup>1</sup>) e Etanol<sup>1</sup> de sorgo sacarino submetidos a diferentes densidades de plantio.

TRATAMENTOS	CST <sup>1</sup> (g L <sup>-1</sup> )	SST <sup>1</sup> - °Brix	Etanol <sup>1</sup> (L ha <sup>-1</sup> )	CST <sup>2</sup> (g L <sup>-1</sup> )
VARIEDADE				
BRS 506	140,02a	16,88a	4.157,85a	159,73a
SF-15	92,66b	11,15a	2.438,58b	84,51b
EL (cm)				
50	119,50a	13,56a	4.142,09a	107,34b
60	115,33a	13,83a	3.302,20ab	106,72ab
70	111,58a	14,30a	2.890,63b	130,22ab
80	118,95a	14,38a	2.857,92b	144,19a
EP (cm)				
8	113,44a	13,73a	3.988,48a	121,98a
12	111,46a	13,91a	3.079,98ab	118,88a
16	124,13a	14,42a	2.826,18b	125,54a

<sup>1</sup>: primeiro ciclo; <sup>2</sup>: segundo ciclo; EL: espaçamento entrelinhas; EP: espaçamento ente plantas. Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (K-W), com comparações múltiplas por pares quando p-valor ≤ 0,05; nível de significância a 5%.

O fator de variação (FV) variedade (V) apresentou-se significativo para todas as variáveis estudadas, exceto para o rendimento do caldo, no primeiro ciclo. Da mesma forma o FV espaçamento entrelinhas (EL), diferenciando apenas rendimento de caldo que não foi significativo no segundo ciclo de cultivo. Já o espaçamento entre plantas, apresentou efeito significativo para todos os fatores, exceto para o °brix e o etanol, ambos no segundo ciclo de investigação (Tabela 4).

**Tabela 4:** Resumo da ANOVA das variáveis rendimento do caldo (RCt<sup>1e2</sup>), peso do caldo (PCt<sup>1e2</sup>), sólidos solúveis totais (SST<sup>2</sup>) e etanol (2) de dois genótipos de sorgo sacarino submetido a diferentes densidades de plantio.

FV	GL	RCt <sup>1</sup>	PCt <sup>1</sup>	RCt <sup>2</sup>	PCt <sup>2</sup>	SST <sup>2</sup> (°Brix)	Etanol <sup>t2</sup>
		----- QM -----					
Bloco	3	0,0003ns	0,0003*	1,0807**	0,5841**	1,9569ns	1,9569ns
Variedade (V)	1	0,0005ns	0,0012**	3,3041**	7,6501**	256,1067**	256,1067**
EspLin (EL)	3	0,0024**	0,0014**	0,2733ns	0,3690*	5,6075*	5,6075*
EspPla (EP)	2	0,0060**	0,0041**	0,7483**	0,8772**	1,2387ns	1,2388ns
V x EL	3	0,0002ns	0,0001ns	0,0273ns	0,0648ns	3,2758ns	3,2758ns
V x EP	2	0,0003ns	0,0002ns	0,2315ns	0,1408ns	0,0317ns	0,0317ns
EL x EP	6	0,0001ns	0,0001ns	0,0524ns	0,0398ns	1,7571ns	1,7571ns
V x EL x EP	6	0,0001ns	0,0001ns	0,1078ns	0,1352ns	2,1467ns	2,1467ns
Erro	69	0,0002	0,0001	0,1216	0,0988	1,8254	1,8254
Total	95	-	-	-	-	-	-
CV	-	1,18	0,87	15,17	12,64	9,35	4,95

<sup>1</sup>: primeiro ciclo; <sup>2</sup>: segundo ciclo; FV: fatores de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; t: normalizados pelo sistema box-cox; CV: coeficiente de variação; V: variedade; EL: espaçamento entrelinhas; EP: espaçamento ente plantas.

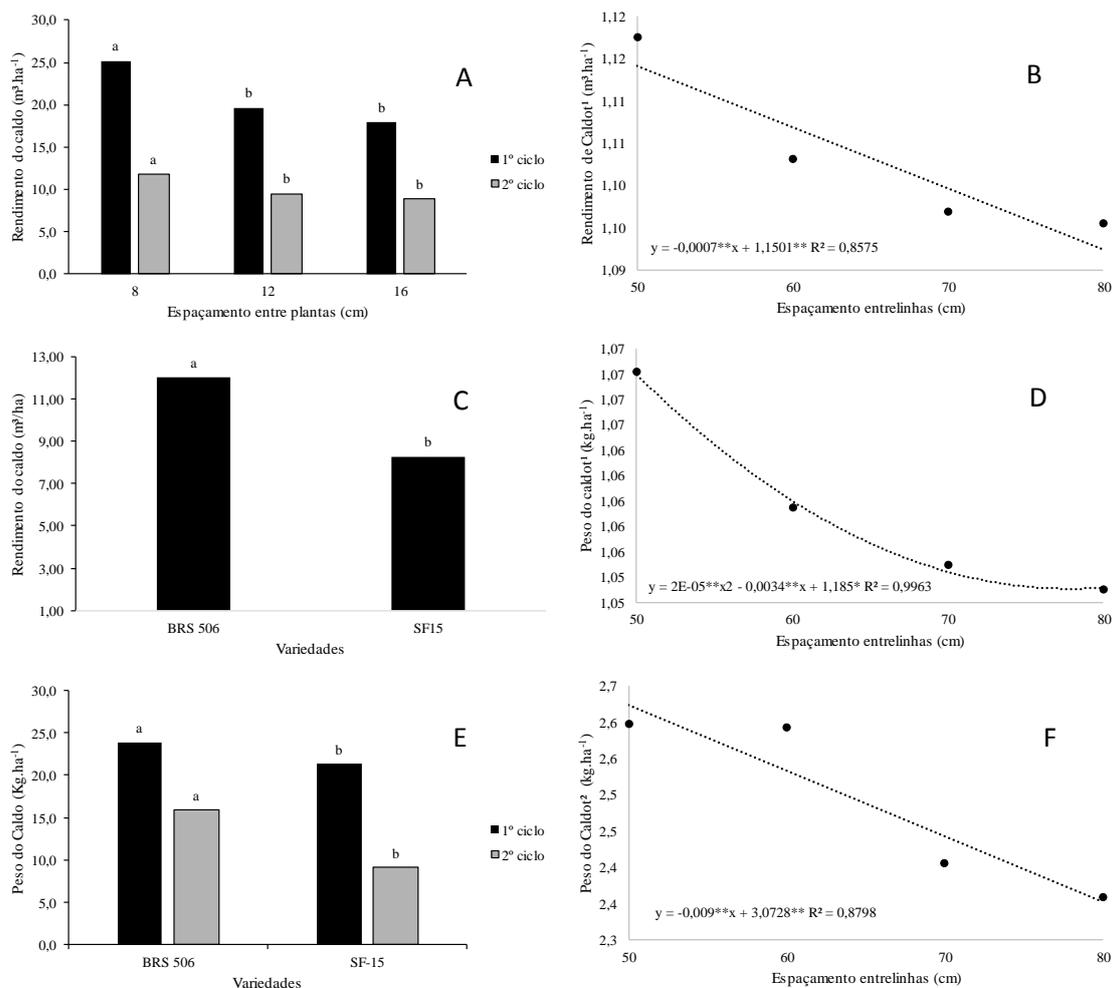
ns, \*, \*\* respectivamente, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade de erro pelo teste F da análise de variância (ANAVA);

Para o rendimento do caldo (RC) pode ser observado na Figura 2A, que quando se trabalhou com o menor espaçamento entre plantas obtive-se os maiores rendimentos, sendo que no primeiro ciclo de cultivo os valores observados para todos os espaçamentos estudados foram superiores. Na Figura 2B, ainda sobre o RC, quando foi analisado o espaçamento entrelinhas, observou-se comportamento semelhante, obtendo-se o maior rendimento quando as plantas foram cultivadas a 50 cm de espaçamento entrelinhas, com uma média de 24,85 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Entre as variedades estudadas o melhor desempenho com relação ao rendimento do caldo foi para a BRS 506 (Figura 2C), que apresentou média de 12,01 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, enquanto a variedade SF15 apresentou média de 8,28 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Para o peso do caldo (PC) observa-se nas Figuras 2D e 2F, primeiro e segundo ciclos, que o comportamento da variável estudada nos diferentes espaçamentos entrelinha foram similares, obtendo-se as maiores médias de peso do caldo no espaçamento de 50 cm entrelinhas, sendo 27,01 e 13,46 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A variedade BRS 506 se comportou melhor nos dois anos de cultivo, apresentando médias de 23,86 e 15,95 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2E) pra o peso do caldo. É possível inferir que para a variedade BRS 506 houve

uma perda de 33,15% do primeiro ciclo para o segundo, enquanto na variedade SF15 a perda observada foi de 57,58%.

**Figura 2:** Rendimento do caldo (RC) e peso do caldo (PC) de duas variedades de sorgo sacarino produzidos no semiárido em 2015 e 2016 em função de diferentes espaçamentos entrelinhas e entre plantas.



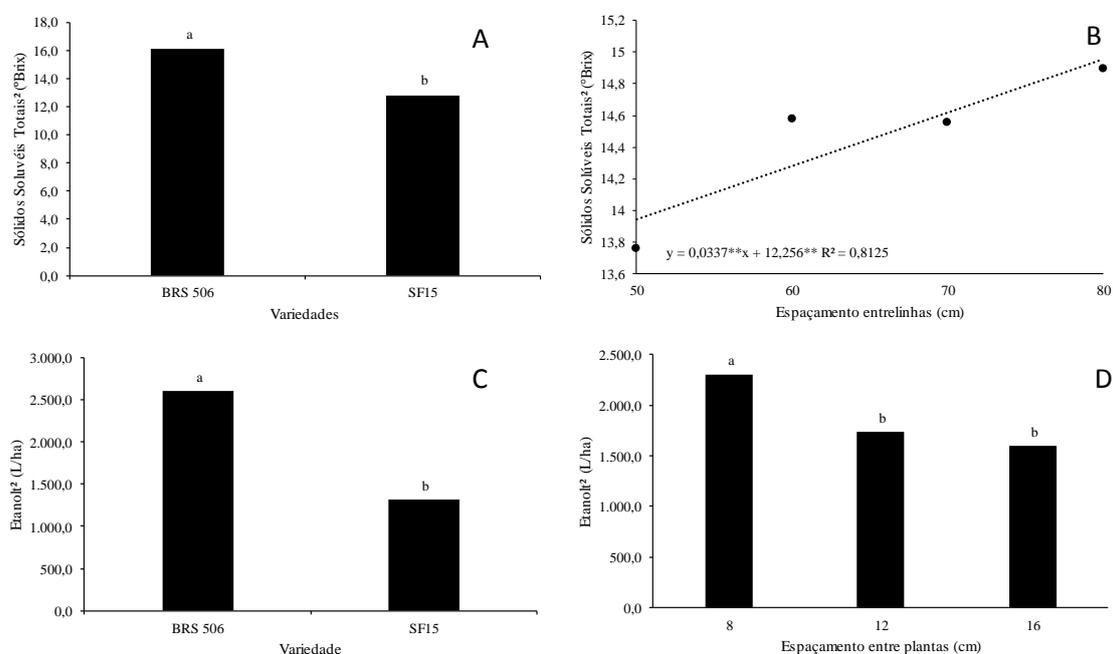
1: primeiro ciclo; 2: segundo ciclo, \*, \*\*: respectivamente, significância pelo teste F quando significativo ao nível 5% e significativo ao nível de 1%. t Transformação de dados pelo sistema Box Cox ( $\lambda = -0,8333333$  (RC¹),  $\lambda = -0,88383834$  (PC¹) e  $\lambda = 0$  (PC²)).

Os sólidos solúveis totais (SST) analisado nas variedades estudadas, mostrou a variedade BRS 506 apresentando a maior média, 16,08 °Brix, enquanto a variedade SF15 apresentou 12,82 °Brix (Figura 3A). Para o espaçamento entrelinhas o comportamento foi diferente dos demais observados até então, em que o menor espaçamento sempre

favoreceu a variável estudada, para o °Brix a maior média foi observada no espaçamento de 80 cm entrelinhas, apresentando uma média de 14,90 °Brix (Figura 3B).

Nas Figuras 3C e 3D estão expostos os dados da variável etanol ( $L\ ha^{-1}$ ) no segundo ano de cultivo, observa-se que a variedade BRS 506 apresentou maior média ( $2.603,96\ L\ ha^{-1}$ ) quando comparada com a variedade SF15 ( $1.315,37\ L\ ha^{-1}$ ), notou-se uma produção de 49,49% a mais de uma variedade para a outra. No espaçamento entre plantas, observa-se que o espaçamento de 8 cm entre as plantas resultou na maior produção de etanol por hectare, obtendo-se uma média de  $2.300,62\ L\ ha^{-1}$ , enquanto os espaçamentos de 12 e 16 cm entre as plantas não diferiram entre si estatisticamente.

**Figura 3:** Sólidos solúveis totais (SST) e etanol de duas variedades de sorgo sacarino produzidos no semiárido em 2016 em função de diferentes espaçamentos entrelinhas e entre plantas.



1: primeiro ciclo; 2: segundo ciclo, \*, \*\*: respectivamente, significância pelo teste F quando não significativo, significativo ao nível 5% e significativo ao nível de 1%. t Transformação de dados pelo sistema Box Cox ( $\lambda = 0$ ).

## DISCUSSÃO

O sorgo sacarino apresenta características importantes para sobreviver a condições adversas, por ser menos exigência em água e tolerante à seca pode ser explorado em larga escala em diversas condições de clima e solo (RAO et al., 2013). Sendo possível notar essa adaptação, em que no primeiro ciclo a precipitação durante o período de cultivo foi de 652,6 mm, enquanto no segundo ciclo foi registrado durante

todo o cultivo uma precipitação de 284,8 mm, apresentando 56,4% a menos do volume do registrado no primeiro ciclo (Figura 1).

Diante dessas condições, a variedade BRS 506 apresentou melhor desempenho em comparação a SF 15, no primeiro ciclo, onde as condições climáticas foram mais favoráveis (Tabela 3). O conteúdo de carboidratos totais do caldo de sorgo sacarino reflete com maior exatidão a qualidade do etanol, já que este é o substrato que os microrganismos vão metabolizar para liberação do etanol, pelo processo conhecido por fermentação etanólica. Dessa maneira, é possível inferir que quanto maior a quantidade de carboidratos na solução maior a produção de etanol (RAO et al., 2013).

Foi observado, no primeiro ciclo de cultivo, que a produção de etanol foi 70,5% superior para a variedade BRS 506, variedade que produziu mais CST<sup>1</sup> (Tabela 3). No segundo ciclo, com uma precipitação bem inferior, a BRS 506 apresentou uma produção de etanol 97,9% superior ao produzido pela variedade SF 15 (Figura 3C). Portanto, a variedade BRS 506 mostra-se altamente promissora para as condições climáticas comuns no semiárido nordestino, que apresenta como característica a má distribuição espacial e temporal das chuvas (FERRAZ et al., 2011).

Emygdio et al. (2011) avaliaram a variedade BRS 506 em Pelotas, RS, e estimaram um rendimento médio de colmos entre 48 e 70 t ha<sup>-1</sup>, dando um valor médio de 55 litros de etanol por tonelada de colmos. Isso produziria entre 2.640 e 3.850 L ha<sup>-1</sup> de etanol, o que está abaixo do valor obtido no presente experimento. Para uma produção satisfatória de etanol, Almodares e Hadi (2012) determinaram que o etanol extraído do sorgo sacarino deve render cerca de 3.000 L ha<sup>-1</sup>.

A importância do arranjo espacial nos sistemas de produção, dar-se na busca de melhores produtividades, levando em consideração fatores como cultivares, características ambientais (solo e clima), manejo do solo e adubações, assim, permitindo que as plantas explorem o máximo de recursos sem competição intraespecífica (SOUZA et al., 2016). Não existe uma recomendação única de densidade de semeadura ideal para todas as condições, podendo variar de acordo com os fatores ambientais, da região e época de semeadura, sistema de cultivo adotado, fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, escolha do genótip, entre outros.

No presente trabalho o menor espaçamento entrelinhas (50 cm) favoreceu o rendimento do caldo no primeiro ciclo (Figura 2B), alcançando uma média de 24,85 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e o peso do caldo em ambos os ciclos de cultivo (Figura 2D e 2E), com médias de 27,01 e 13,46 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O que pode ter ocorrido devido a maior

quantidade de massa fresca total obtida no menor espaçamento. De acordo com Silva et al. (2017a), o volume do caldo diminuiu proporcionalmente ao aumento de espaçamento entrelinhas, ao ser avaliado a variedade BRS 511, em clima semiárido do estado do Ceará.

Em trabalho desenvolvido por Pereira-Filho et al. (2013), avaliando quatro variedades de sorgo sacarino em diferentes densidades de semeadura, a BRS 506 também alcançou melhor desempenho, obtendo maior volume de caldo, 24.895 L ha<sup>-1</sup> corroborando com o rendimento nas condições do atual experimento, 24.850 L ha<sup>-1</sup>.

A diferença observada no volume de caldo entre as variedades estudadas nesse ensaio pode ser atribuída ao fato de que a SF 15 não apresenta as mesmas características genéticas da BRS 506, que foi desenvolvida para ser capaz de suportar maior pressão de plantas por área (PEREIRA-FILHO et al., 2013).

Segundo Teetor et al. (2011) ao estudar-se o melhor arranjo de plantas de sorgo sacarino, deve-se levar em consideração que os principais componentes para a produção de etanol são a massa fresca, os sólidos solúveis e a massa do caldo. Estes autores afirmam ainda que, tais características podem ser correlacionadas, portanto, às práticas agrícolas visando melhorias para esses componentes no momento da colheita, o qual são de suma importância para um resultado final satisfatório.

A variedade BRS 506 apresentou melhores resultados para variável sólidos solúveis totais (°Brix), como pode ser observado na Figura 3A, apresentando-se com 16,08 °Brix, uma superioridade de 26% em relação a variedade SF 15. O °Brix foi a única variável que respondeu melhor ao aumento do espaçamento entrelinhas (Figura 3B), resultando num incremento de 1,14 °Brix a mais que o valor obtido no menor espaçamento. Esse comportamento possivelmente ocorreu por que, o °Brix é diretamente influenciado pela taxa de fotossíntese da planta (SILVA et al., 2017a), que é afetada diretamente pelo espaçamento entrelinhas, tendo assim maior incidência de luz nas plantas conduzidas no maior espaçamento entrelinhas, culminando, teoricamente, numa maior taxa fotossintética.

Existe uma enorme diversidade genética de variedades de *S. bicolor*, e algumas variedades de sorgo sacarino têm sido relatadas e produzem rendimentos semelhantes à cana-de-açúcar (RATNAVATHI et al., 2010). Desta forma, Rao et al (2013) estudaram os efeitos do tempo de plantio e de genótipos na produtividade de colmos, na qualidade do açúcar do caldo, na produção de açúcar e etanol de quatro cultivares comerciais de sorgo sacarino sob condições semiáridas indianas. Esses autores relataram que o plantio de sorgo sacarino no início de junho até o início de julho permite que mais matéria-prima

seja colhida e, portanto, estende o período para operação da usina de açúcar em cerca de 1 mês. Da mesma forma, a resposta positiva da variedade BRS 506 em nossa pesquisa é de extrema importância sob as condições deste estudo; a baixa quantidade de chuva durante o segundo ciclo do experimento é digna de nota. Essa é a realidade vivida pelos agricultores da região, e confirma a viabilidade de inserir a cultura do sorgo sacarino durante o período de entressafra da cana, ou mesmo de buscar novas perspectivas para as diferentes condições de clima da Região Nordeste do Brasil.

## CONCLUSÃO

A variedade de sorgo sacarino BRS 506 é indicada para produção de etanol nas condições do semiárido nordestino, em espaçamento de 50 cm entrelinhas e 8 cm entre plantas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

ALBUQUERQUE, C. J. B., PARRELLA, F. D., GUIMARÃES, R. A. C., OLIVEIRA, A. S., SILVA, R. M., JESUS, K. M. Sweet sorghum in different row spacing and plant densities in minas gerais state, Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v.11 n.1, p 69–65, 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, 2012.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. Köppen's Climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n. 6, p.711–728, 2014.

CIFUENTES, R.; BRESSANI, R.; ROLZ, C. The potential of sweet sorghum as a source of ethanol and protein. **Energy for Sustainable Development**. v. 21, n. 1, p. 13–19, 2014.

DALVI, U. S., CHAVAN, U. D., SHINDE, M. S., GADAKH, S. R. Effect of Staggered Planting on Stalk Yield, Sugar Content and Ethanol Yield of Sweet Sorghum for Increasing Harvest Window. **Sugar Tech**. v. 14, n. 2, p. 144–147, 2012.

DUBOIS, M., GILLES, K. A., HAMILTON, J. K., REBERS, P. A., SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**. v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956.

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

EMYGDIO, B. M., AFONSO, A. P. S., OLIVEIRA, A. C. B., PARRELLA, R.,

SCHAFFERT, R. E., MAY, A., 2011. Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino para a Produção de Etanol sob Diferentes Densidades de Plantas. **Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. p. 22, 2011.

ESTATCAMP. **Software Action**, 2014. Disponível em:  
<<http://www.estatcamp/empresa/software-action>>

FERRAZ, R. L. S., MELO, A. S., FERREIRA, R. S., DUTRA, A. F., FIGUEREDO, L. F. Aspectos morfofisiológicos, rendimento e eficiência no uso da água do meloeiro “Gália” em ambiente protegido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 957–964, 2011.

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. 6, p. 1039–1042, 2011.

LESSA, B. F. T. **AVALIAÇÕES AGRONÔMICAS DE SORGO SACARINO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL NO SEMIÁRIDO: MATURAÇÃO E RESPOSTAS AO SILÍCIO**. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - UFC. Fortaleza, p. 99, 2015.

MINISTRY OF MINES AND ENERGY – BRAZIL (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA). Governo estabelece adição de 27% de etanol na gasolina. 2015. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/03/adicao-de-27-de-etanol-na-gasolina-e-estabelecida-pelo-governo>. Acesso em: 16 Mar 2018.

OLIVEIRA, A. B., GOMES-FILHO, E., ENÉAS-FILHO, J., PRISCO, J. T., ALENCAR, N. L. M. A. Seed priming effects on growth, lipid peroxidation, and activity of ROS scavenging enzymes in NaCl-stressed sorghum seedlings from aged seeds. **Journal of Plant Interactions**. v. 7, n. 2, p. 151-159, 2011.

PEREIRA-FILHO, I. A., PARRELLA, R. C., MOREIRA, J. A. A., MAY, A., SOUZA, V. F., CRUZ, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v. 12, n. 2, p. 118–127, 2013.

RAO, S. S., PATIL, J. V. PRASAD, P. V. V., REDDY, D. C. S., MISHRA, J. S., UMAKANTH, A. V., REDDY, B. V. S., KUMAR, A. A. Sweet sorghum planting effects on stalk yield and sugar quality in semi-arid tropical environment. **Agronomy Journal**. v. 105, n. 5, p. 1458-1465, 2013.

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

- SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI, M., PAPALEXIS, D., NAKOS, N., KALAVROUZIOS, I. K. Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece. **Agricultural Water Management**. v. 90, n. 3, p. 181–189, 2007.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. **In: WORLUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.
- SILVA, J. M. F., DUTRA, A. S., CAMARA, F. T., PINTO, A. A., SILVA, F. E. Row spacing , plant density , sowing and harvest times for sweet sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 47, n. 4, p. 408–415, 2017a.
- SILVA, T. M., LOPES, M. F. Q., OLIVEIRA, A. B., NOGUEIRA, A. L. S. P. Physiological quality of sweet sorghum [ *Sorghum bicolor* ( L .) Moench .] seeds in response to planting density in semi-arid region. **Australian Journal of Crop Science**. v.11, n. 6, p. 694–700, 2017b.
- SOUZA, R., TEIXEIRA, I., REIS, E., SILVA, A. Soybean morphophysiology and yield response to seeding systems and plant populations. **Chilean Journal of Agricultural Research**. v. 76, n. 1, p. 1–8, 2016.
- TEETOR, V. H., DUCLOS, D. V., WITTENBERG, E. T., YOUNG, K. M., CHAWHUAYMAK, J., RILEY, M. R. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. **Industrial Crops and Products**. v. 34, p. 1293–1300, 2011.

## 8. CAPÍTULO 4: QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO SACARINO [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH.] EM RESPOSTA À DENSIDADE DE PLANTIO NA REGIÃO SEMIÁRIDA<sup>4</sup>

**Resumo:** O sorgo sacarino é uma cultura bioenergética que produz alta quantidade de etanol por hectare, mesmo sob condições semiáridas, servindo como alternativa à entressafra canavieira no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da densidade de plantio na qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino. Duas variedades de sorgo sacarino (BRS 506 e SF-15) foram submetidas a espaçamento de 50, 60, 70 e 80 cm entrelinhas, e 8, 12 e 16 cm entre plantas. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 2x4x3, compreendendo duas variedades, quatro espaçamentos entrelinhas e três espaçamentos entre plantas. Avaliaram-se nas panículas coletadas: quantidade de sementes, peso de 100 sementes, teor de água, germinação, primeira contagem de germinação e velocidade de germinação, envelhecimento acelerado e vigor de plântulas. Verificou-se que tanto a variedade quanto o arranjo das plantas afetam a qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino. A variedade BRS 506 é recomendada para produção de sementes em condições semiáridas, com espaçamento de 16 cm entre plantas e 80 cm entrelinhas, e densidade de 75.000 plantas por hectare.

**Palavras-chaves:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Produção de sementes. Espaçamento.

### PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SWEET SORGHUM [SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH.] SEEDS IN RESPONSE TO PLANTING DENSITY IN SEMI-ARID REGION

**Abstract:** Sweet sorghum is a bioenergy crop that produces high amount of ethanol per hectare even under semi-arid conditions, serving as an alternative to sugarcane inter-season in Brazil. The aim of this study was to evaluate the influence of planting density on the physiological quality of sweet sorghum seeds. Two sweet sorghum variety (BRS 506 and SF-15) were submitted to a spacing of 50, 60, 70 and 80 cm between rows, and 8, 12 and 16 cm between plants. The experimental design was of randomised blocks with four replications in a 2 x 4 x 3 factorial scheme, comprising two varieties, four row spacings and three spacings between plants. The following were evaluated from the collected panicles: seed quantity, 100 seed weight, water content, germination, first germination count and speed of germination, accelerated ageing, and seedling vigour. It was found that both the variety and the arrangement of plants in the field affect the physiological quality of sweet sorghum seeds. The BRS 506 variety is recommended for seed production under semi-arid conditions, at a spacing of 16 cm between plants and 80 cm between rows, and a density of 75,000 plants per hectare.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Seed production. Spacing.

<sup>4</sup> Artigo publicado em Australian Journal of Crop Science. 11(06):694-700 (2017). doi: 10.21475/ajcs.17.11.06.p420

## INTRODUÇÃO

Em virtude da preocupação global em obter fonte renovável de combustível, por meio de processos limpos que diminuam a dependência do petróleo, a cultura do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) vem ganhando destaque mundial pelo seu potencial na produção de etanol. Os biocombustíveis geram um maior equilíbrio entre a produção e o consumo de CO<sup>2</sup> na natureza, através da redução de poluentes atmosféricos produzidos pelos automóveis. Dessa maneira, os biocombustíveis são umas das principais alternativas na redução do consumo de fontes não renováveis (CUNHA; SEVRINO-FILHO, 2010).

O sorgo sacarino apresenta uma série de vantagens como alternativa para produção de etanol. Dentre elas destaca-se o curto ciclo de produção, em média 90 a 130 dias, o elevado teor de açúcares, ser pouco exigente quanto a fertilidade do solo, resistente ao estresse hídrico, além de poder ser utilizada na entressafra da cana-de-açúcar, período que comumente as indústrias ficam sem produzir. Além disso, os resíduos do processamento do sorgo podem ser utilizados como fonte de energia de segunda geração e na alimentação animal (SOUZA et al., 2005; FONTES et al., 2011; QUEIROZ et al., 2013).

O sorgo sacarino é uma cultura promissora para a região semiárida, por apresentar resistência a seca, suportando fatores adversos, podendo assim, ser fonte de oportunidades para a população local com a implantação de micro destilarias favorecendo seu cultivo para a agricultura familiar e ajudando a fixar o homem no campo, aumentando sua fonte de renda a partir da fabricação de etanol ou outros produtos, como aguardente (RIBEIRO-FILHO et al., 2008).

Para a produção de etanol, estudos de produtividade do sorgo sacarino, visa garantir uma melhor eficiência no uso do solo, nutrientes e radiação a partir da redução do espaçamento da cultura. Fischer-Filho et al., (2014), trabalhando com três híbridos de sorgo sacarino (Advanta 81981, Monsanto 80007 XBSW e Monsanto 80147 XBSW) em espaçamentos de 45 e 90 cm, observaram que menores espaçamentos com mesma quantidade de plantas por metro alteraram a altura e o diâmetro das plantas, sendo as plantas obtidas em maior espaçamento aquelas que alcançaram maior altura e também maior diâmetro.

Fernandes et al., (2014) utilizando a variedade BRS 506 e testando cinco espaçamentos entrelinhas, sendo quatro simples, 50; 60; 70; e 80 cm e um em linha dupla 100 x 50 x 50 cm, tanto em época de safra como safrinha, verificaram que na época de

safrinha houve diferença significativa entre os espaçamentos testados, os autores observaram que a altura de plantas decresceu linearmente com o aumento do espaçamento entrelinhas simples, demonstrando que o aumento de 30 cm no espaçamento entrelinhas resultou em plantas 11,4 cm menores.

Outro fator relevante em relação a produtividade é o vigor das sementes, que é um dos principais atributos da qualidade fisiológica a ser considerado na implantação de uma lavoura, sendo necessário se conhecer a qualidade fisiológica das sementes. O uso de sementes de alto vigor é justificado em todas as culturas, para assegurar adequada população de plantas sobre uma ampla variação de condições ambientais de campo, oferecendo posteriormente características agronômicas ideais, para produção, no caso, de etanol. Entretanto, informações sobre os efeitos do arranjo de plantas na qualidade fisiológica das sementes produzidas ainda são escassas para a cultura (MARTINS et al., 2014).

Diante do potencial dessa espécie para a região semiárida e da carência de trabalhos que contribuam para um bom desempenho dessa cultura nesta região, o presente trabalho teve por objetivo, avaliar a qualidade fisiológica de sementes de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Localização e condições edafoclimáticas*

O experimento foi conduzido no período de março a julho de 2015 sob condições de sequeiro, na Fazenda Experimental Vale do Curu da Universidade Federal do Ceará - UFC, em Pentecoste, CE, nas coordenadas UTM 462620 E, 9577349 S e altitude de 48 m, em Planossolo de textura franco arenosa (EMBRAPA, 2006). O clima local, segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2014), é do tipo BSw'h, região pertencente ao grupo semiárido de climas. Os dados meteorológicos para o período do experimento são apresentados na Figura 1 (Anexo).

### *Materiais vegetais e preparo da área experimental*

As variedades utilizadas foram a BRS 506, adquirida da unidade de milho e sorgo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, na cidade de Sete Lagoas, em Minas Gerais, e do SF-15, do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA. Para as duas variedades estudadas (BRS 506 e SF-15), foram analisados espaçamentos

entrelinhas de 50, 60, 70 e 80 cm, e entre plantas de 8, 12 e 16 cm, resultando em diferentes populações de plantas por hectare.

#### *Desenho e condução experimental*

O preparo do solo foi realizado com aração seguida de gradagem. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 2x4x3, compreendendo duas variedades, quatro espaçamentos entrelinhas e três espaçamentos entre plantas, para uma área total de 1.248 m<sup>2</sup>, com quatro blocos de 312 m<sup>2</sup> e lotes que variaram de 10 a 16 m<sup>2</sup> de acordo com o tratamento. Cada unidade de amostragem consistia de quatro filas de cinco metros, sendo as duas linhas centrais a área útil da parcela.

De acordo com a análise do solo (Anexo-Tabela 1<sup>1</sup>) da área do experimento e recomendações de Durões; May; Parrella (2012) no momento da semeadura, para ambos os anos, foi realizada adubação de fundação com 30, 50 e 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, tendo-se como fontes para cada nutriente os adubos minerais ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Aos vinte dias após a semeadura foi realizada uma adubação de cobertura com 140 e 45 kg ha<sup>-1</sup> de N e K<sub>2</sub>O, respectivamente.

#### *Coleta de dados e variáveis analisadas*

Três panículas foram coletadas de cada área útil aos 110 dias após a semeadura (DAS) para a variedade BRS 506, e aos 130 DAS para a variedade SF-15. As panículas foram levadas para o Laboratório de Análise de Sementes (UFC), onde foram pesadas e as sementes extraídas e contadas. As seguintes análises foram realizadas: número de sementes por panícula; peso de 100 sementes (SANTOS et al., 2008); teor de água, utilizando quatro repetições de 30 sementes e empregando o método de estufa (105 ± 2°C por 24 horas); teste de germinação, determinado como percentual de plântulas normais em quatro repetições de 50 sementes por tratamento (BRASIL, 2009); primeira contagem de germinação, aos quatro dias após a implantação do teste de germinação; índice de velocidade de germinação (MAGUIRE, 1962); teste de envelhecimento acelerado, utilizando 50 sementes para cada uma das quatro repetições de cada tratamento (VAZQUEZ et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012); e avaliação de plântulas aos dez dias após a realização do teste de germinação. Para esta última avaliação, 20 mudas foram retiradas aleatoriamente para medir o comprimento da parte aérea e da raiz e determinar o peso da matéria seca (MARCOS-FILHO, 1994; OLIVEIRA et al., 2011).

### *Análise estatística*

Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade das variâncias e quando atenderam a tais pressuposições foram realizadas análise de variância (ANAVA) com teste a posteriores de Tukey (5%) para variedades e espaçamento entre plantas; e regressão polinomial nos espaçamentos estrelinhas. Quando os dados não atenderam a pelo menos uma das hipóteses da ANOVA, foram submetidos ao teste não-paramétrico de Kruscal-Wallis (5%). As variáveis TU (%), IVG, PC e EA foram analisadas com os dados transformados, através do sistema Box-cox.

As análises estatísticas foram feitas com o auxílio dos softwares Action 2.7 (ESTATCAMP, 2014) para transformação Boxcox e teste de Bartlett (teste de variância); Assistat 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016) para os testes de normalidade e Kruscal-Wallis; e Sisvar 5.3 Build 77 (FERREIRA, 2011) para ANAVA com Tukey ou regressão.

## **RESULTADO E DISCUSSÃO**

### *Comparação geral entre as variedades*

As variedades apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste não-paramétrico de Kruscal-Wallis para todas as características estudadas (Tabela 2). A variedade BRS 506 foi estatisticamente superior para todos os parâmetros estudados, quando comparada à SF-15.

Este resultado pode ser atribuído ao fato da variedade BRS 506 ter um ciclo de 110 dias, atingindo o ponto de maturação fisiológica, aproveitando melhor os recursos disponíveis para completar seu estágio final. Já a variedade SF-15 teve um ciclo de 130 dias, sendo assim a semente permaneceu mais tempo no campo aderida a planta mãe, submetidas a altas temperaturas o que possivelmente pode ter ocasionado a queda da qualidade fisiológica das sementes. Segundo Evangelista et al. (2015), variações ambientais como umidade relativa do ar, temperatura e até mesmo a ação de patógenos, tornam-se importantes causas de perda de potencial fisiológico em sementes entre a maturidade fisiológica e o momento em que a semente é colhida.

**Tabela 2:** Parâmetros físicos e fisiológicos de sementes de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio.

Tratamentos	PP (g)	PCS (g)	G (%)	CPA (cm)	MSR (g)	MSPA (g)
VARIEDADE						
BRS 506	59,27 a	2,04 a	91 a	12,09 a	0,0038 a	0,0071 a
SF-15	50,00 b	1,34 b	80 b	10,73 b	0,0030 b	0,0056 b
EL (cm)						
50	49,16 a	1,69 a	85 a	11,32 a	0,0033 a	0,0061 a
60	51,04 a	1,71 a	89 a	11,75 a	0,0034 a	0,0066 a
70	57,29 a	1,69 a	85 a	11,54 a	0,0036 a	0,0064 a
80	62,05 a	1,67 a	86 a	11,02 a	0,0034 a	0,0062 a
EP (cm)						
8	51,09 b	1,67 a	87 a	11,38 a	0,0033 a	0,0063 a
12	52,19 ab	1,68 a	84 a	11,58 a	0,0034 a	0,0062 a
16	60,62 a	1,72 a	85 a	11,69 a	0,0035 a	0,0065 a

Peso de panícula (PP), peso de cem sementes (PCS), germinação (G), comprimento da parte aérea (CPA), massa seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), espaçamento entrelinhas (EL) e espaçamento entre plantas (EP); médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, com nível de significância a 5%.

#### *Produção de panículas e sementes*

No peso das panículas (Tabela 2) observou-se diferença entre as variedades avaliadas e entre os espaçamentos entre plantas. Percebe-se que a variedade BRS 506 apresentou peso superior (59,27 g) em comparação a variedade SF-15 (50,00 g). Entretanto, Pinto et al. (2011), trabalhando com a cultivar EA 955 observaram, para a característica em questão, um valor de 55,28 g, resultado inferior comparado ao obtido pela cultivar BRS 506. No espaçamento entre plantas, o espaçamento de 16 cm proporcionou melhor desempenho em relação aos demais, com resultado de 60,62 g. Essa característica é importante pois, está ligada ao rendimento, sendo um critério para a escolha do material que será estabelecido para produção de sementes.

Em relação à variável peso de cem sementes, houve diferença entre as variedades. A variedade BRS 506 mostrou-se estatisticamente superior, apresentando 2,04 g em comparação a SF-15, com 1,34 g (Tabela 2). Esse aspecto é fundamental no estudo de sementes pois, segundo Carvalho e Nakagawa (2012), as sementes com maiores tamanhos e densidade apresentam geralmente, embriões com elevadas quantidades de reserva, sadios e bem formados e dão origem a plantas com maior vigor.

Não houve diferença significativa para o espaçamento entrelinhas ( $p \leq 0,05$ ) em nenhuma das características avaliadas, mostrando que essas características não foram influenciadas pelos espaçamentos entrelinhas utiliz

zados, para obtenção de sementes no campo (Tabela 2). Por outro lado, para o espaçamento entre plantas, houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) para o peso da panícula, sendo que 16 cm apresentou o melhor resultado, com uma média de 60,62 g, sendo superior aos demais espaçamentos entre planta estudados. Tal resultado pode ser atribuído a maior captação de luz pela planta que vai favorecer o processo de fotossíntese e ao enchimento de grãos. Alvarez et al., (2006) trabalhando com milho, observou o contrário, com um aumento na densidade de 55.000 sementes  $h^{-1}$  para 75.000 sementes  $h^{-1}$ , ou seja, um menor espaçamento entre plantas resultou em um aumento na produção de grãos, independentemente de o espaçamento adotado.

#### *Qualidade fisiológica de sementes e estabelecimento de plântulas*

Pode-se observar na Tabela 2, que a germinação de sementes de BRS 506 (91%) foi maior que a variedade SF-15 (80%). Este resultado pode ser atribuído à interferência de fatores intrínsecos ou ambientais que possivelmente afetaram a germinação das sementes. Um aspecto importante da germinação em cultivares é que a qualidade das sementes é apenas um dos fatores para garantir a boa produtividade, além de outros fatores que podem estar diretamente envolvidos, como fatores ambientais, entre eles disponibilidade de água, temperatura, luminosidade. e fertilidade do solo. Ullmann et al. (2015), trabalhando na região do Cerrado, também encontraram valores elevados para porcentagem de germinação ao analisar a cultivar BRS 506, atingindo médias de 94%.

Na Tabela 2, também pode ser visto que a variedade BRS 506 apresentou resultados estatisticamente superiores para o comprimento da parte aérea, em 12,09 cm, comparado ao SF-15 em 10,73 cm. Este resultado pode ser atribuído ao vigor das sementes, onde valores mais altos para o comprimento médio das plântulas normais das amostras de sementes são avaliados como mais vigorosos (TOLEDO et al., 2007).

Em relação aos valores de matéria seca nas raízes e na parte aérea, a variedade BRS 506 foi estatisticamente superior, com valores de 0,0038 g e 0,0071 g respectivamente, enquanto a variedade SF-15 obteve resultados de 0,0030 g para a raiz seca matéria e 0,0056 g de matéria seca da parte aérea (Tabela 2). Carvalho e Nakagawa (2012) afirmam que o vigor das sementes está relacionado ao acúmulo de matéria seca, e segue esse acúmulo na mesma proporção, mostrando vigor máximo quando o peso máximo de matéria seca é atingido.

A Tabela 3 mostra um resumo da análise de variância para características que exibiram valores significativos. Para o teor de água característico, o espaçamento entre plantas, a interação variedade x espaçamento entre plantas e a interação tripla variedade x espaçamento entre fileiras x espaçamento entre plantas foram significativos. Para o número característico de sementes por panícula, apenas espaçamento entrelinha foi significativo.

**Tabela 3:** Resumo da análise de variância para variáveis com dados normalizados pelo sistema Box-Cox para variedade (V), espaçamentos entrelinhas (EL) e espaçamentos entre plantas (EP): teor de água de sementes (SWC), número de sementes por panícula (NSP), índice de velocidade de germinação (IVG), primeira contagem de germinação (PC), comprimento de raiz (CR) e envelhecimento acelerado (EA), em cultivares de sorgo sacarino produzidas na região semiárida.

FV	GL	TA (%)	NSP	IVG (%)	PC	CR (cm)	EA (%)
		----- QM -----					
Bloco	3	0,000031 <sup>ns</sup>	14217,367159 <sup>ns</sup>	0,141237 <sup>ns</sup>	50,7083 <sup>ns</sup>	2.886058 <sup>ns</sup>	31188305,7 <sup>ns</sup>
Variedade (V)	1	0,000004 <sup>ns</sup>	7866,079376 <sup>ns</sup>	45,0319 <sup>**</sup>	1335,042 <sup>**</sup>	0,653400 <sup>ns</sup>	703510157,2 <sup>**</sup>
EspLin (EL)	3	0,000153 <sup>ns</sup>	13981,185170 <sup>*</sup>	0,99757 <sup>ns</sup>	74,37500 <sup>ns</sup>	0,445411 <sup>ns</sup>	5360509,1 <sup>ns</sup>
EspPla (EP)	2	0,000067 <sup>*</sup>	8857,258739 <sup>ns</sup>	2,460429 <sup>ns</sup>	673,7916 <sup>*</sup>	3,025426 <sup>ns</sup>	21938169,4 <sup>ns</sup>
V x EL	3	0,000679 <sup>**</sup>	3570,962615 <sup>ns</sup>	5,83877 <sup>*</sup>	381,1528 <sup>ns</sup>	2,290033 <sup>ns</sup>	35765257,4 <sup>ns</sup>
V x EP	2	0,000054 <sup>ns</sup>	4752,875939 <sup>ns</sup>	0,291017 <sup>ns</sup>	153,7916 <sup>ns</sup>	7,064816 <sup>*</sup>	94982129,7 <sup>*</sup>
EL x EP	6	0,000099 <sup>ns</sup>	3395,208587 <sup>ns</sup>	2,332328 <sup>ns</sup>	475,7916 <sup>*</sup>	1,596237 <sup>ns</sup>	82291568,4 <sup>**</sup>
V x EL x EP	6	0,000183 <sup>**</sup>	3495,837215 <sup>ns</sup>	4,058232 <sup>*</sup>	1018,9027 <sup>**</sup>	0,234041 <sup>ns</sup>	9907657,9 <sup>ns</sup>
Erro	69	0,000041	5329,054109	1,679052	0,255631	1,229103	26139936,1
Total	95	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	0,91	35,11	12,33	15,96	7,22	30,83

FV: fatores de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação; ns, \*, \*\* respectivamente, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade de erro pelo teste F da análise de variância (ANOVA)

Com o índice de velocidade de germinação, observou-se significância para variedade, a interação variedade x espaçamento entrelinha e a interação tripla variedade x espaçamento entrelinha x espaçamento entre plantas. Considerando que, com a primeira contagem de germinação, foi observada significância para variedade, espaçamento entre plantas, interação espaçamento entrelinha e espaçamento entre plantas e por fim interação tripla (Tabela 3).

O comprimento das raízes foi significativo apenas para a interação variedade x espaçamento entre plantas. O envelhecimento acelerado apresentou valores significativos

para variedade, a interação variedade x espaçamento entre plantas e a interação espaçamento entrelinha x espaçamento entre plantas.

#### *Teor de água da semente*

Na Tabela 4, não houve diferença no conteúdo de água das duas variedades nos espaçamentos de 50 e 60 cm, mas quando o espaçamento entrelinhas aumentou para 70 cm, houve um aumento significativo para a variedade SF-15, seguido por um diminuir no espaçamento seguinte de 80 cm de 11,6% para 7,9%.

A variedade BRS 506 apresentou 8,8% e 9,6% em espaçamento de 50 e 70 cm entrelinhas, respectivamente, variação semelhante à observada por Martins et al. (2014), trabalhando com a BRS 506 em diferentes espaçamentos, que também encontraram valores para o teor de água da semente com pouca variação entre tratamentos, variando de 15,4% a 16,5% em espaçamento de 50 e 70 cm entrelinhas, conforme adotado neste trabalho estudo.

**Tabela 4.** Teor de umidade de sementes e índice de velocidade de germinação em duas cultivares de sorgo sacarino produzidas na região semiárida utilizando diferentes espaçamentos entrelinhas.

CULTIVAR	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm
----- Teor de água (%) -----				
BRS 506	9,57 a	9,25 a	8,82 b	10,28 a
SF-15	10,09 a	9,25 a	11,63 a	7,98 b
-----Índice de velocidade de germinação (%) -----				
BRS 506	11,39 a	10,76 a	10,91 a	11,71 a
SF-15	9,21 b	10,66 a	9,83 b	9,59 b

<sup>a, b</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, com nível de significância a 5%. Análise dos desdobramentos do teor de água e índice de velocidade de germinação das cultivares dentro de cada espaçamento entrelinhas.

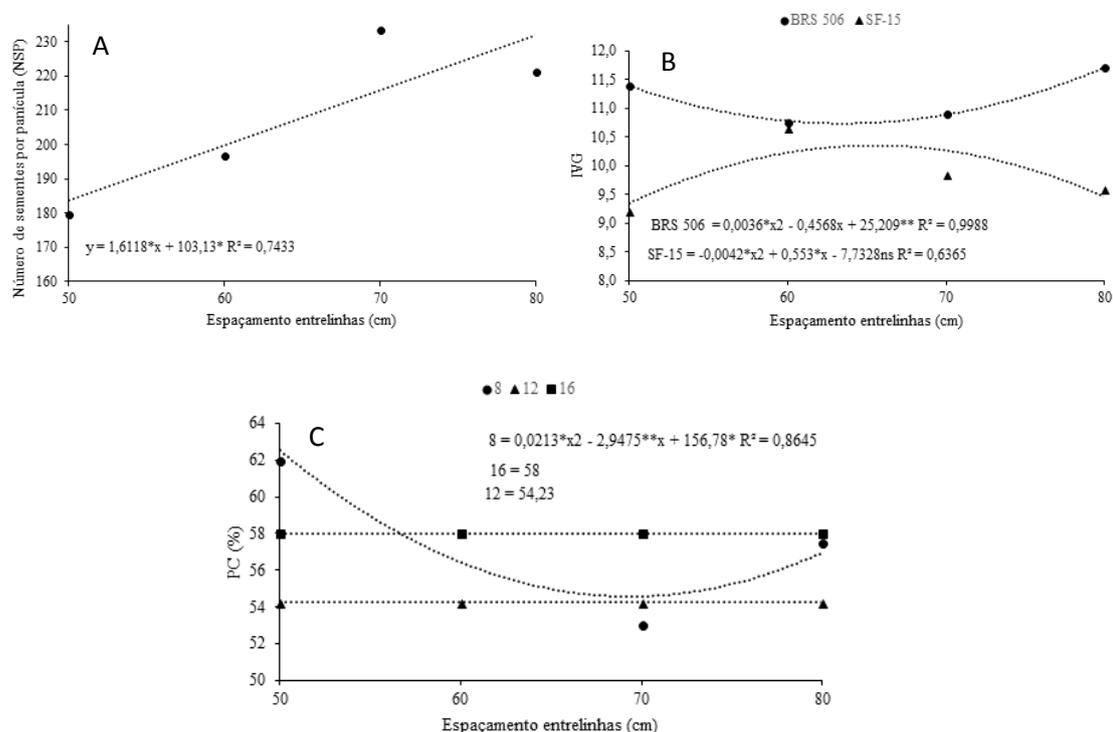
Provavelmente porque as condições de armazenamento foram semelhantes, não houve variação significativa entre as variedades. A redução no teor de água observada para a variedade SF-15 no espaçamento de 80 cm pode ser atribuída ao fato de ter passado mais tempo em campo sob altas temperaturas e com maior espaçamento, o que pode ter resultado em uma maior perda de água. Segundo Ferreira et al. (2013), o teor de água afeta diretamente a qualidade das sementes: quanto maior o teor de água da semente quando colhida, maior a probabilidade de dano mecânico, sendo necessário dar grande atenção a essa etapa da produção.

### *Análise de regressão*

Pode-se observar na Figura 2A que o número de sementes por panícula apresentou comportamento linear para o modelo de regressão. Verificou-se que à medida que o espaçamento entrelinhas aumentou, houve também um aumento no número de sementes por panícula. O menor valor encontrado para o número de sementes foi no espaçamento de 50 cm entrelinhas, com 184 sementes; o maior valor foi a 80 cm, com 232 sementes por panícula. Pode-se afirmar que um maior espaçamento entrelinhas favorece, portanto, uma maior produção de sementes. Esses resultados concordam com os relatados por Santos et al. (2002), trabalhando com duas cultivares de arroz de terras altas em diferentes espaçamentos, onde foi verificado que no maior espaçamento entrelinhas, um maior número de grãos foi obtido por panícula.

Portanto, é provável que uma maior eficiência na captação de radiação fotossinteticamente ativa tenha sido obtida no maior espaçamento entre plantas, contribuindo para um melhor desenvolvimento e, portanto, para o processo de formação de sementes. Entre as variedades em estudo, o potencial de produção de sementes teria sido muito maior se não houvesse predação de aves durante o experimento de campo.

**Figura 2.** Número de sementes por panícula (A), índice de velocidade de germinação (B) e primeira porcentagem de germinação em primeira contagem aos quatro dias após semeadura (C) de sementes de sorgo sacarino de duas cultivares produzidas em região semiárida utilizando diferentes espaçamentos entrelinhas.



\* e \*\* - significativo pelo teste F a 5% e 1% de probabilidade.

Um maior índice de velocidade de germinação é observado para a variedade BRS 506 na maioria dos espaçamentos adotados (Tabela 4). A variedade SF-15 apresentou menor índice de velocidade de germinação no espaçamento de 50 cm entrelinhas, sendo este o menor valor observado nos dados, com 9,21 plântulas germinadas por dia.

A Figura 2B mostra o comportamento das duas cultivares em relação ao índice de velocidade de germinação (IVG) para espaçamento entrelinhas. A variedade BRS 506 apresentou o menor índice no espaçamento de 63,44 cm, com o valor de 10,72 calculado por regressão (Figura 2B), enquanto o maior valor foi encontrado em 80 cm com um IVG de 11,71. A variedade SF-15 obteve menores resultados para IVG em relação aos valores da BRS 506. O menor valor encontrado foi no espaçamento de 50 cm com IVG de 9,42, enquanto o maior valor foi de 65,83 cm, com GSI de 10,47 (Figura 2A e Tabela 4). O índice de velocidade de germinação é importante no estudo de sementes, sendo parte dos testes de avaliação de vigor que visam determinar o potencial fisiológico de um lote de

sementes e detectar diferenças significativas, além de fornecer informações adicionais necessárias para avaliar a produção de sementes (MARCOS-FILHO, 2005).

Nos dados referentes a primeira contagem de germinação (PC), percebe-se que houve apenas uma diferença no espaçamento de 8 cm entre plantas em relação a variedade SF-15, que teve uma contagem abaixo da BRS 506, com um valor de 57,6% (Tabela 5) Esse resultado pode ser atribuído à variedade não ter se desenvolvido bem no menor espaçamento devido à menor disponibilidade de recursos; as plantas estavam mais densamente compactadas e, provavelmente, entraram em competição por fatores ambientais como água, luz e nutrientes. A primeira contagem também faz parte dos testes para avaliar o vigor, necessários para as sementes; reflete a expressão de um conjunto de características que determinam o potencial de emergência rápida e uniforme de plântulas (MARCOS-FILHO, 2005). Não houve diferença significativa para os outros espaçamentos entre plantas.

**Tabela 5.** Primeira contagem de germinação e comprimento de raiz em duas cultivares de sorgo sacarino produzidas na região semiárida usando diferentes espaçamentos entre plantas.

CULTIVAR	8 cm	12 cm	16 cm
-----Primeira contagem de germinação (%) -----			
BRS 506	69,62 a	58,37 a	58,62 a
SF-15	57,62 b	51,25 a	55,37 a
-----Comprimento da raiz (cm)-----			
	16,04 a	14,75 a	14,99 a
SF-15	15,14 b	15,25 a	15,89 a

a, b As mesmas letras em uma coluna não diferem pelo teste de Tukey em um nível de 5%.

Análise dos desdobramentos da primeira contagem de germinação e do comprimento de raiz das cultivares dentro de cada espaçamento entre plantas.

De acordo com a Figura 2C, o espaçamento entre plantas de 8 cm apresentou um valor mínimo de 54,8% para a primeira contagem no espaçamento entrelinha de 69,19 cm, enquanto o valor máximo obtido para a primeira contagem foi de 62,6% no espaçamento de 50 cm entrelinhas. Os outros espaçamentos entre plantas não se ajustaram a nenhum dos modelos propostos. Os valores para as duas variedades avaliadas diferiram dos valores encontrados por Vazquez et al. (2011), que trabalharam com diferentes lotes da variedade BRS 610 e obtiveram valores muito superiores para a primeira contagem que variaram de 87% a 100%. Estes resultados encontrados pelos autores podem ser

atribuídos ao fato de trabalharem com um único híbrido de geração F1 enquanto o presente trabalho foi desenvolvido usando sementes de geração F2.

Os valores do comprimento radicular podem ser encontrados na Tabela 5. Observa-se que apenas a variedade SF-15 apresentou diferença significativa no espaçamento de 6 cm entre as plantas. Em locais com distribuição irregular de chuvas, como na região semiárida o comprimento da raiz é uma característica que ajuda a planta a se manter no ambiente, pois com raízes mais desenvolvidas a planta tem um maior suprimento de água e esse aprofundamento no solo favorece a sobrevivência da planta as condições de déficit hídrico.

#### *Vigor das sementes*

Na Tabela 6 podem ser encontrados os valores para o teste de envelhecimento acelerado, deve-se observar que após o teste entre as duas variedades de sorgo sacarino os resultados para plântulas normais variaram de 68,74% a 82,78%. Diferindo dos resultados obtidos por Oliveira et al. (2014), onde não foi possível observar qualquer efeito da densidade de semeadura ou do espaçamento entrelinhas na produção de sementes de nabo, observando que após o teste de envelhecimento acelerado a porcentagem de plântulas normais variou de 87% a 94%. Miranda et al., (2001), trabalhando com diferentes lotes de sementes de sorgo da cultivar Zeneca 822 no mesmo tempo de exposição e temperatura adotado no experimento (96 horas a 41 ° C), encontraram variações na germinação de 83% para 92 % entre lotes.

**Tabela 6.** Percentual de sementes germinadas após avaliação do envelhecimento acelerado em duas cultivares de sorgo sacarino produzidas no semiárido utilizando diferentes espaçamentos entre planta (EP).

	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm
<b>CULTIVAR</b>	-----Envelhecimento acelerado (%)-----			
BRS 506	81,57 a	78,66 a	80,78 a	82,78 a
SF-15	68,74 b	75,37 a	68,92 b	69,78 b
<b>EP (cm)</b>	-----Envelhecimento acelerado (%)-----			
8	72,12 a	74,45 a	77,06 a	79,48 ab
12	82,07a	78,66 a	67,94 a	68,73 b
16	71,79 a	78,01 a	79,82 a	80,99 a

<sup>a, b</sup> Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, com nível de significância a 5%. Análise dos desdobramentos do envelhecimento acelerado das cultivares dentro de cada espaçamento entrelinhas e dos espaçamentos entre plantas dentro de cada espaçamento entrelinhas.

Os resultados do teste de envelhecimento acelerado apresentam valores com diferenças significativas apenas para o espaçamento de 80 cm entrelinhas, com um valor de 68,7% (Tabela 6). Segundo Miranda et al. (2001), o teste de envelhecimento acelerado é complementar ao teste de germinação, pois é neste último teste que as sementes são submetidas a fatores semelhantes aos encontrados no campo, considerados fatores ambientais adversos que consideram os altos níveis de umidade relativa e temperatura que contribui para uma maior taxa de deterioração de sementes.

Observe o comportamento de ambas as cultivares para o teste de envelhecimento acelerado em relação à quebra do espaçamento entre plantas dentro de cada nível de espaçamento entrelinhas (Tabela 6). No espaçamento de 16 cm entre plantas, observa-se um valor de 71,8% de germinação para sementes obtidas no espaçamento de 50 cm entrelinhas, e 81% de germinação no espaçamento de 80 cm entre fileiras.

## CONCLUSÕES

Sorgo sacarino, variedade BRS 506 está adaptado para crescer na região semiárida. Além disso, observamos que o arranjo de plantas influencia a qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino. Portanto, para produzir sementes de sorgo sacarino desta variedade, recomendamos o espaçamento de 16 cm entre plantas e 80 cm entrelinhas, uma densidade de 75.000 plantas por hectare.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ALVAREZ, C. G. D.; PINHO, R. G. VON; BORGES, I. D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entrelinhas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p. 402–408, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS**, p. 395, 2009.
- CARVALHO, N. M. DE; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. 5 edição ed. Campinas: FUNEP, 2012.
- CUNHA, S. P.; SEVERO-FILHO, W. A. Avanços tecnológicos na obtenção de etanol a partir de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Tecno-Lógica**, v. 14, n. 2, p. 69–75, 2010.
- DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público- Privada: Oportunidades, Perspectivas e Desafios. **Documentos / Embrapa Milho e Sorgo**, p. 76, 2012.
- ESTATCAMP. **Software Action**, 2014. Disponível em:  
<<http://www.estatcamp/empresa/software-action>>
- EVANGELISTA, J. R. E., OLIVEIRA, J. A., GUIMARÃES, R. M., BOTELHO, F. J. E., RESENDE, P. M., MONDO, V. H. V. Potencial fisiológico de sementes de soja durante a maturação. **Informativo ABRATES**, v. 25, p. 39–42, 2015.
- 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. 6, p. 1039–1042, 2011.
- FERREIRA, V. F., OLIVEIRA, J. A., FERREIRA, T. F., REIS, L.V., ANDRADE, V., JAIME COSTA- NETO, J. Quality of maize seeds harvested and husked at high moisture levels. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 3, p. 276–283, 2013.
- FISCHER FILHO, J. A., GOMES, G. G. C.; BOLONHEZI, A. C.; OLIVEIRA, J. A. V.; SANTOS, B. T. R. R. Sacarino characteristics of growth of hybrid sorghum. **Ciência & Tecnologia: Fatec-JB, Jaboticabal**, v. 6, p. 11–15, 2014.
- FONTES, M. M., SILVA, B. A., DANTAS, J. P., SILVEIRA, D. C., CAVALCANTI, M. T. Caracterização físico-químico do melado de sorgo physical-chemical sorghum

- molasses cane [*Sorghum biolor* ( L ) Moench]. **Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 6, n. 1, p. 216–219, 2011.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176–177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. Utilização de testes de vigor em programas de controle de qualidade de sementes. **Informativo ABRATES, Londrina**, v. 4, p. 33–35, 1994.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba ed. 2, pag 659 pag, 2015.
- MARTINS, A. B. N., COSTA, C. J., QUINEPER, R. R., MONTEIRO M. A., VÉRA, J.G., MEDEIROS, L. **Qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino em função do espaçamento e desnidade de plantas**. 12ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa - ISSN 1982-2960, 2014.
- MIRANDA, D. M. DE; NOVENBRE, A. D. D. L. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de sorgo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, p. 226–231, 2001.
- PINTO, O. R. O., AZEVEDO, B. M., MARINHO, A. B., FERNANDES, C. N. V., VIANA, T. V. A., BRAGA, E. S. Adubação nitrogenada na cultura do sorgo granífero pelo método. **Agropecuária Técnica**, v. 32, n. 1, p. 132–140, 2011.
- QUEIROZ, T. R., BERALDO, M. A., ERNESTO, R. C., YOSHIMURA, B. K. 2013 **Análise da viabilidade econômica e as potencialidades de produção de biocombustível a partir do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench)**. Disponível em:  
<[http://www.xxivenangrad.enangrad.org.br/anais2013/\\_resources/artigos/gds/07.pdf](http://www.xxivenangrad.enangrad.org.br/anais2013/_resources/artigos/gds/07.pdf)>  
Aesso em 12/11/2017.
- QUINEPER, R. R.; MARTINS, A. B. N.; COSTA, C. J. **Qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino em função do espaçamento e densidade de plantas**. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 23.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 16., 2014, Pelotas. [Anais.]. Pelotas: UFPel, 2014.
- RIBEIROFILHO, N. M., FLORÊNCIO, 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. 10, n. 1, p. 9–16, 2008.
- SANTOS, H. C., VIANA, J. S, GONCALVES, E. P., BRUNO, R. L. A., FRAGA, V. S. Physiological Quality of Sorghum Seeds in Response To Copper. **Caatinga (Mossoró,Brasil)**, v. 21, p. 64–70, 2008.
- SANTOS, P. G., CASTRO, A. P., SOARES, A. A., CORNÉLIO, V. M. O. Efeito do espaçamento e densidade de semeadura sobre a produção de arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, p. 480–487, 2002.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: **WORLUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.

SOUZA, C. C., DANTAS, J. P., SILVA, S. M., SOUZA, V. C., ALMEIDA, F. A., 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.

TOLEDO, M. Z, CAVARIANI, C., NAKAGAWA, J., ALVES, E., MATEUS, G. P., CRUSCIOL, C. A. C. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo-de-guiné em função da adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 2, p. 234–246, 2007.

ULLMANN, R., Resende, O., Chaves, T. H., Oliveira, D. E. C., Costa, L. M. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 64–69, 2015.

VAZQUEZ, G. H.; BERTOLIN, D. C.; SPEGIORIN, C. N. Testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, p. 18–24, 2011.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notório na literatura a presença de vários trabalhos demonstrando que o sorgo sacarino é viável para produção de etanol na entressafra da cana-de-açúcar, tendo a vantagem de utilizar a infraestrutura e logística instalada no setor agrícola e na indústria da usina. No entanto, para a região nordeste do país essas investigações ainda são escassas e alguns gargalos ainda devem ser superados, como inferir qual o melhor arranjo espacial para a produtividade do sorgo nas condições edafoclimáticas enfrentadas por produtores nessa região.

O presente trabalho permitiu verificar justamente, o efeito do espaçamento e da densidade de plantas de variedades de sorgo sacarino sobre variáveis de crescimento, biomassa, qualidade do caldo para produção de etanol e qualidade de sementes em condições de sequeiro na região nordeste, podendo inferir o espaçamento e densidade ideal para cada finalidade da produção.

Diante dos resultados dessa pesquisa surgem novas perguntas a serem respondidas que contemplem novas variedades adaptadas a região, época de plantio e de colheita, para que atendam a possibilidade de fornecimento da matéria prima na entressafra da cana-de-açúcar.

## REFERÊNCIAS

- ALANÍS, H. W. GARCÍA, F. Z., CAVAZOS, G. A., VÁZQUEZ, M. D. C. R., SÁENZ, E. O. Características agronómicas asociadas a la producción de bioetanol en genotipos de sorgo dulce. **Agronomía Mesoamericana**. v. 28, n. 3, p 549–563, 2017.
- ALBUQUERQUE, C. J. B., TARDIN, F. D., PARRELLA, R. A. C., GUIMARÃES, A. S., OLIVEIRA, R. M., SILVA, K. M. J. Sweet sorghum in different row spacing and plant densities in minas gerais state, Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 1, p. 69–65, 2012.
- ALBUQUERQUE, C. J. B., PARRELLA, R. A. C., TARDIN, F. D., BRANT, R. S., SIMÕES, D. A., FONSECA Jr., W. B., OLIVEIRA, R. M., SILVA, K. M. J. Potencial forrageiro de cultivares de sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 28., 2010, Goiânia, GO. Anais... Goiânia: ABMS, p.2219-2224, 2010.
- ALBUQUERQUE, C. J. B., VON PINHO, R. G. V., RODRIGUES, J. A. S., BRANT, R. S. Espaçamento entre fileiras e Densidade de semeadura do Sorgo forrageiro para a região norte de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 494-501, 2011.
- ALMEIDA FILHO, J. E. **Avaliação agrônômica e de estabilidade e adaptabilidade de híbridos de sorgo granífero**. 2012. 95f. Dissertação (Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos de Goytacazes, 2012.
- ALMODARES, A., HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. **African Journal of Agricultural Research**. v. 4, p. 772-780, 2012.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. Köppen's Climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ARGENTA, G., SILVA, P. R. F., BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 715–722, 2001.
- BANDEIRA, A. H., MEDEIROS, S.L.P., EMYGDIO, B.M., BIONDO, J.C., LEAL, L.T. Morfologia foliar de sorgo sacarino cultivado em diferentes espaçamentos entrelinhas e épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 63–75, 2018.
- BAUMHARDT, R. L., HOWELL. Práticas Sementeira TA, maturidade cultivar, e efeitos de irrigação no simulado rendimento de sorgo. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, n.3, p.462-470, abril de 2006.
- BELLALOU, N., BRUNS, H. A., ABBAS, H. K., MENGISTU, A., FISHER, D. K., REDDY, K. N. Effects of Row-Type , Row-Spacing , Seeding Rate , Soil-Type , and

Cultivar Differences on Soybean Seed Nutrition under US Mississippi Delta Conditions. **PLoS ONE** 10:1-23. doi:10.1371/journal.pone.0129913, 2015.

BIANCHI, L., GERMINO, G.H., SILVA, M.D.A. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, p. 15–32, 2016.

BOSTRÖM, U.; ANDERSON, L. E.; WALLENNHAMMAR, A. Seed distance in relation to row distance: Effect on grain yield and weed biomass in organically grown winter wheat, spring wheat and spring oats. **Field Crops Research**, v. 134, p. 144- 152, 2012.

BUSO, W.H.D., MORGADO, H. S., SILVA, L. B., FRANÇA, A.F.S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **Revista PUBVET**. v. 5, p. 1-29, 2011.

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

CARVALHO, M. A. C., FURLANI JUNIOR, E., ARF, O., SÁ, M. E., PAULINO, H. B., BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 445–450, 2003.

CASTRO, F. M. R. **Potencial Agronômico e energético de híbridos de sorgo Biomassa** 2014.80f. Dissertação (mestrado em agronomia) - Programa de Pósgraduação em agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2014.

CIFUENTES, R.; BRESSANI, R.; ROLZ, C. The potential of sweet sorghum as a source of ethanol and protein. **Energy for Sustainable Development**. v. 21, n. 1, p. 13–19, 2014.

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

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, quarto levantamento, abril/2017**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: CONAB, 2017. Acesso em: 09 de maio de 2017. Disponível em: [https://www.novacana.com/pdf/18042017090454\\_Conab\\_-\\_4\\_Levantamento\\_2016-17\\_180417.pdf](https://www.novacana.com/pdf/18042017090454_Conab_-_4_Levantamento_2016-17_180417.pdf)

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento, agosto de 2016**. Brasília: Conab, 2016. Acesso em: 12 de novembro de 2017. Disponível em: [file:///C:/Users/Tatiana/Downloads/Boletim\\_Graos\\_agosto\\_2016.pdf](file:///C:/Users/Tatiana/Downloads/Boletim_Graos_agosto_2016.pdf)

COSTA, N. L. MORAES, A., CARVALHO, P. C. F., MONTEIRO, A. L. G., OLIVEIRA, R. A. Características morfológicas e estruturais de *Trachypogon plumosus* de acordo com a fertilidade do solo e o nível de desfolha. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48, n. 3, p. 320–328, 2013.

DALVI, U. S., CHAVAN, U. D., SHINDE, M. S., GADAKH, S. R. Effect of Staggered Planting on Stalk Yield, Sugar Content and Ethanol Yield of Sweet Sorghum for Increasing Harvest Window. **Sugar Tech**. v. 14, n. 2, p. 144–147, 2012.

DUARTE, J. O. Cultivo do sorgo: Mercado e comercialização. **In: Sistemas de produção**. Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_6\\_ed/mercado.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/mercado.htm) . 2010.

DUBOIS, M., GILLES, K. A., HAMILTON, J. K., REBERS, P. A., SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**. v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956.

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

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistalka brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Bras, p: 353, 2013.

EMYGDIO, B. M., AFONSO, A. P. S., OLIVEIRA, A. C. B., PARRELLA, R., SCHAFFERT, R. E., MAY, A., 2011. Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino para a Produção de Etanol sob Diferentes Densidades de Plantas. **Embrapa Clima Temperado**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. p. 22, 2011.

ESTATCAMP. Software Action, 2014. Acesso em 17 de setembro de 2016. Disponível em: <http://www.estatcamp/empresa/software-action>

FAROOQ, M., WAHID, A., KOBAYASHI, N., FUJITA, D., BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, p. 185–212, 2009.

FERNANDES, F.E.P., GARCIA, R., PIRES, A.J.V., PEREIRA, O. G., CARVALHO, G. G. P., OLIVINDO, C. S. Ensilagem de sorgo forrageiro com adição de ureia em dois períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.11, p.2111-2115, 2009.

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.

FERRAZ, R. L. S., MELO, A. S., FERREIRA, R. S., DUTRA, A. F., FIGUEREDO, L. F. Aspectos morfofisiológicos, rendimento e eficiência no uso da água do meloeiro “Gália” em ambiente protegido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 957–964, 2011.

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

FERREIRA, L. E., SILVA, I. F., SOUZA, E. P., SOUZA, M. A., BORCHARTTET, L. Caracterização física de variedades de sorgo submetidas a diferentes adubações em

condição de sequeiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 249–255, 2012.

FIGUEIREDO, S. L., RODRIGUES, J. D. Perfilamento do trigo em função de aplicação do regulador vegetal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 750-755, 2012.

FISCHER-FILHO, J. A., GOMES, G. G. C., BOLONHEZI, A. C., OLIVEIRA, J. A. V. AND SANTOS, B. T. R. R. Sacarino characteristics of growth of hybrid sorghum. **Ciência & Tecnologia: Fatec-JB, Jaboticabal**, v. 6, p. 11–15, 2014.

GOMES, S. M. S., LIMA, V. L., SOUZA, A. P., NASCIMENTO, J. J. V. R., NASCIMENTO, E. S. Chloroplast pigments as indicators of lead stress. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 877–884, 2014.

HAMMER, G. L., GRANDES, I. J. Genótipo e ambiente efeitos sobre a dinâmica de índice de colheita durante o enchimento de grãos na cultura do sorgo. **Agronomy Journal**, Madison, v.95, n.1, p.199-206, 2003.

HUSSAIN, M., MEHMOOD, Z., KHAN, M. B., FAROOQ, S., LEE, D. Narrow row spacing ensures higher productivity of low tillering wheat cultivars. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 14, p. 413-418, 2012.

JAISSWAL, D., SOUZA, A. P., LARSEN, S., LEBAUER, D. S., MIGUEZ, F.E., SPAROVEK, G., BOLLERO, G., BUCKERIDGE, M. S., LONG, S.P. Brazilian sugarcane ethanol as an expandable green alternative to crude oil use. **Nature Climate Change**, v. 7, p. 788–792, 2017.

JONES, O. R., JOHNSON, G. L. Avaliação de uma curta temporada. alta densidade estratégia de produção para o sorgo sequeiro. **Texas: USDA-ARS**, de 1997.

LEONARDO, F. D. A. P., PEREIRA, W. E., SILVA, S. M. AND COSTA, J. P. Teor de clorofila e índice spad no abacaxizeiro cv. vitória em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 377–383, 2013.

LESSA, B. F. T., DUTRA, A. S., SILVA, T. M., SANTOS, C. C., SOUSA, W. N. Physiological maturation in seeds of sweet sorghum for foliar fertilisation with silicate. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 718 – 729, 2017.

LIMA, A. M. Estudos recentes e perspectivas da viabilidade técnico – econômica da produção de etanol lignocelulósico. 1 ed. Brasília: **Embrapa Agroenergia**, 10 p, 2011.

LOZANO, E.D.V., BLANCO, L.M., ALCANTARA, G.U., NOGUEIRA, L.C., CIARAMELLO, S., COSTA, G.H.G. Effect of application of flowering inhibitor on sweet sorghum. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n.4, p. 196–201, 2018.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia, **In: Cultivo do Sorgo, Sistemas de Produção**, 7 ed, 2011.

MARCOCCIA, R. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial.** 2007. 95 p. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

MARTINS, J. R., ALVARENGA, A. A., CASTRO, E. M., SILVA, A. P. O. AND ALVES, E. Teores de pigmentos fotossintéticos e estrutura de cloroplastos de Alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 64–69, 2010.

MAY, A.; CAMPANHA, M. M.; SILVA, A. F.; COELHO, M. A. O.; PARRELLA, R. A. C.; SHAFFERT, R. E.; FILHO, I. A. P.; Variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n.3, p. 278-290, 2012.

MEKDDAD, A. A. A.; RADY, M. M. Productivity Response to Plant Density in Five *Sorghum bicolor* Varieties in Dry Environments. **Annals of Agricultural & Crop Sciences**, v. 1, n. 2, p. 1–7, 2016.

MINISTRY OF MINES AND ENERGY – BRAZIL (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA). **Governo estabelece adição de 27% de etanol na gasolina.** 2015. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/03/adicao-de-27-de-etanol-na-gasolina-e-estabelecida-pelo-governo>. Acesso em: 16 Mar 2018.

MIRANDA, M. R. S. **Bagaço de sorgo: estimativa de parâmetros cinéticos e pirólise analítica.** Dissertação. 2011. 105f. (Mestrado Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

MOURA, M. S. B., GALVINCIO, J. D., BRITO, L. T. L., SOUZA, L. S. B., SÁ, I. I. S. AND SILVA, T. G. F. **Clima e água de chuva no Semi-Árido.** In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro, p. 37–59, 2007.

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.

NUNES, R. L. C., OLIVEIRA, A. B., DUTRA, A. S. Agronomic performance of onion hybrids in Baraúna, in the semi-arid region of Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 606-611, 2014.

OLIVEIRA, A. B., ALENCAR, N. L. M., GOMES-FILHO, E. Physiological and Biochemical Responses of Semiarid Plants Subjected to Water Stress. In: Ismail Md. Mofizur Rahman; Hiroshi Hasegawa. (Org.). Water Stress. 1ed. **Rijeka: InTech**, v. 1, p. 43-58, 2012.

OLIVEIRA, A. B., ALENCAR, N. L. M., PRISCO, J. T., GOMES-FILHO, E. Accumulation of organic and inorganic solutes in NaCl-stressed sorghum seedlings from aged and primed seeds. **Scientia Agricola** (USP. Impresso), v. 68, p. 632-637, 2011.

OLIVEIRA, H. P., RIBEIRO, T. B., MACHADO, A. S., SILVA, L. O. AND OLIVEIRA JÚNIOR, A. R. Respostas fisiológicas de forrageiras ao déficit hídrico e baixas temperaturas. *Nutritime Revista Eletrônica*, v. 14, n. 5, p. 7008–7014, 2017.

OLIVEIRA, S. **Processos de produção**. Acesso em: 18 fev. 2016. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/samueloliveira/disciplinas/tecnologia-de-fabricacao-de-biocombustiveis/bioetanol/apostila-2-processo-de-producao-de-etanol-de-cana-de-acucar>>. 2016.

PACHECO, L. P., LEANDRO, W.M., MACHADO, P.L.O.A., ASSIS, R.L., COBUCCI, T., MADARI, B.E., PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. *Pesquisa agropecuária brasileira*. v. 46, p. 17–25, 2011.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

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

PARRELLA, R. A. C., MENEZES, C. B., RODRIGUES, J. A. S., TARDIN, F. D., PARRELLA, N. N. L. D., SCHAFFERT, R. E. **Cultivares**. In: Borém, A., Pimentel, L. D., Parrella, R. A. C. (ed.). *Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa, MG: UFV, cap. 7, p. 169-187, 2014.

PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E. Cultivares. In: MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, L. A. C. Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol, Sistema BRS 1G – Tecnologia qualidade Embrapa. **Documentos 139**, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, cap 1. p. 14-21, 2012.

PEREIRA-FILHO, I.A., PARRELLA, R.C., MOREIRA, J.A.A., MAY, A., SOUZA, V.F., CRUZ, J.C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira Milho e Sorgo**. v. 12, p. 118-127, 2013.

PESTANA, M., DAVID, M. M., VARENNES, A., ABADIA, J. AND FARIA, E. A. Responses of “Newhall” orange trees to iron deficiency in hydroponics: effects on leaf chlorophyll, photosynthetic efficiency, and root ferric chelate reductase activity. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, p. 1609–1620, 2001.

PURCINO, A. A. C. Sorgo sacarino na Embrapa: histórico, importância e usos. In: DURÃES, F. O. M. *Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia*. **Embrapa Agroenergia, Agroenergia em revista**. Ano II, n. 3, ago. 2011.

QUEIROZ, T. R., BERALDO, M. A., ERNESTO, R. C., YOSHIMURA, B. K. Análise da viabilidade econômica e as potencialidades de produção de biocombustível a partir do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench). **GDS – Gestão da Sustentabilidade. XXIV ENANGRAD**, Resumos. Florianópolis, SC. 2013.

RAO, S.S., PATIL, J.V. PRASAD, P.V.V., REDDY, D.C.S., MISHRA, J.S., UMAKANTH, A.V., REDDY, B.V.S., KUMAR, A.A. Sweet sorghum planting effects on stalk yield and sugar quality in semi-arid tropical environment. **Agronomy Journal**. v. 105, p. 1458-1465, 2013.

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

RIBAS, P. M. Sorgo: Introdução e Importância Econômica. Sete Lagoas-MG: **EMBRAPA**, (Documento 23). 16 p. 2003.

RIBEIRO FILHO, N.A.; FLORÊNCIO, I.M.; ROCHA, A.S.; DANTAS, J.P.; FLORENTINO, E.R.; SILVA, F.L.H. DA. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16, 2008.

SAHU, H., NANDEHA, N. Effect of planting density and levels of nitrogen on yield and yield attributes of sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) Varieties. **International Journal of Chemical Studies**. v. 6, p. 2098–2101, 2018.

SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI, M., PAPALEXIS, D., NAKOS, N., KALAVROUZIOS, I. K. Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece. **Agricultural Water Management**. v. 90, n. 3, p. 181–189, 2007.

SANTOS, J. M. R., OLIVEIRA, A. R., MELO, R. F., SANTOS, M. L. S. Viabilidade do cultivo consorciado de sorgo sacarino e feijão-caupi em barragem subterrânea em regiões semiáridas. **Revista Científica Intellecto**, v. 2, n. 1, p. 5–15, 2017.

SANTOS, R. F., PLACIDO, H. F., GARCIA, E. B., CANTÚ, C., ALBRECHT, A. J. P., ALBRECHT, L. P. AND FRIGO, K. D. A. Sorgo sacarino na produção de agroenergia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 1, p. 1–12, 2015.

SCHAFFERT, R. E., GOURLEY, L. M. **Sorghum as energy source**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SORGHUM, 8., 1981, Patancheru, India. Proceedings... Patancheru, India: ICRISAT, Nov. 1981. p. 605-623.

SEAGRI/DIPAP. **Sorgo Forrageiro SF 15**, 2008.

SILVA, F. A. S., AZEVEDO, C. A. V. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

- SILVA, J. M. F., DUTRA, A. S., CAMARA, F. T., PINTO, A. A., SILVA, F. E. Row spacing, plant density, sowing and harvest times for sweet sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 4, p. 408–415, 2017a.
- SILVA, K. M. J. **Produtividade e qualidade do caldo de cultivares de sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais**. 2013. 40f. Monografia. Universidade Federal de Montes Claros. Janúba, MG, 2013.
- SILVA, T. M., LOPES, M. F. Q., OLIVEIRA, A. B., NOGUEIRA, A. L. S. P., VIANA, I. E. T. LESSA, B. F. T. Physiological quality of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] seeds in response to planting density in semi-arid region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 6, p. 694–700, 2017b.
- SOUZA, C. C., DANTAS, J. P., SILVA, S. M., SOUZA, V. C., ALMEIDA, F. A., 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**, Campinas, v.25, n. 3, p. 512-517, jul./set. 2005.
- SOUZA, R., TEIXEIRA, I., REIS, E., SILVA, A. Soybean morphophysiology and yield response to seeding systems and plant populations. **Chilean Journal of Agricultural Research**. v. 76, n. 1, p. 1–8, 2016.
- STICHLER, C.; CFARLAND, M.M.; COFFMAN, C. Irrigated and dryland grain sorghum production south and southwest Texas. Bulletin of Texas **Agricultural Extension Service**, Texas, v.6048, p. 11, Ago. 1997.
- TAIZ, L., ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: **Artmed**, 888 p., 2017.
- TANG, C., SUN, C., DU, F., CHEN, F., AMEEN, A. Effect of Plant Density on Sweet and Biomass Sorghum Production on Semiarid Marginal Land. **Sugar tech**. v. 2, p. 312–322, 2017.
- TAYLOR, J.R.N.; SCHOBBER, T.J.; BEAN, S.R. Novel Food and non-food uses for sorghum and millets. **Journal of Cereal Science**, London, v.44, n.3, p-252-271, 2006.
- TEETOR, V. H., DUCLOS, D. V., WITTENBERG, E. T., YOUNG, K. M., CHAWHUAYMAK, J., RILEY, M. R. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. **Industrial Crops and Products**. v. 34, p. 1293–1300, 2011
- TEIXEIRA, C. G.; JARDINE, J. G.; NICOLELA, G.; ZARONI, M. H. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.9, p. 1601-1606, 1999.
- THORSTED, M. D.; OLESEN, J. E.; WEINER, J. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. **Field Crop Research**, v. 95, p. 280–290, 2006.

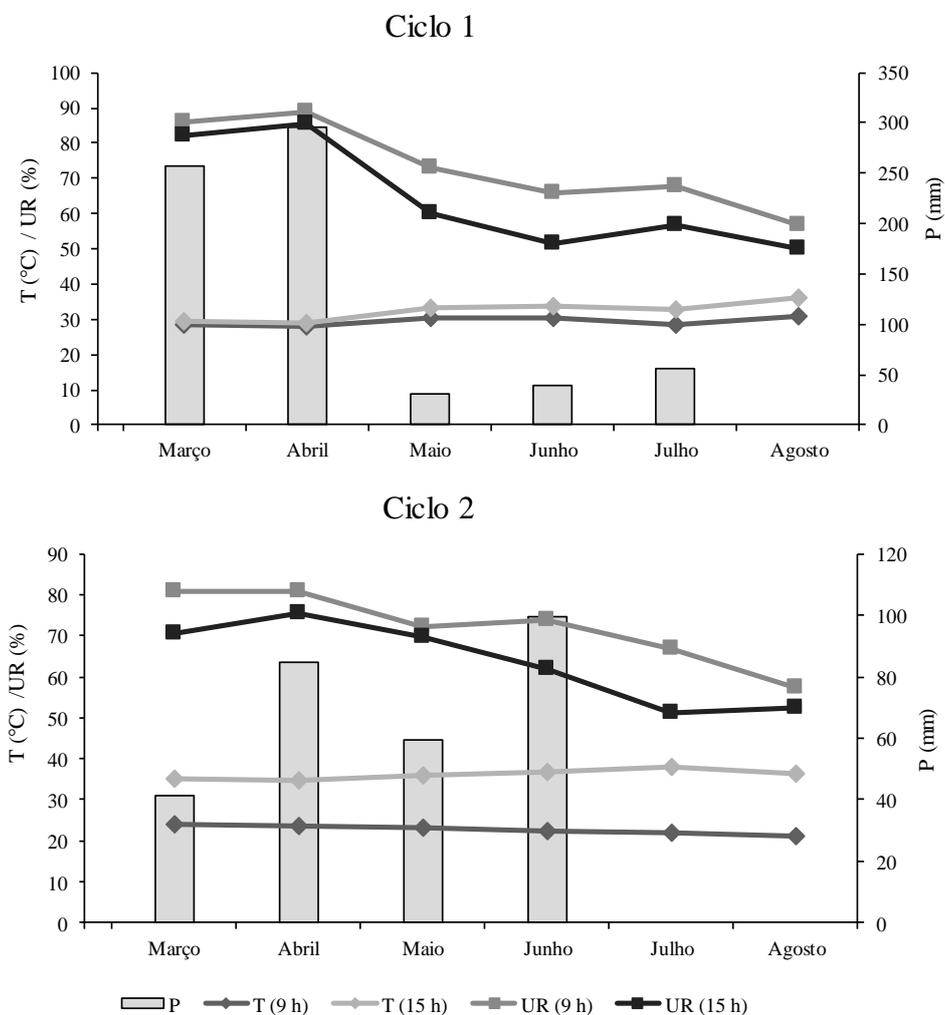
VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; BENIN, G.; SILVEIRA, G.; SILVA, J. A. G.; NORNBORG, R.; HAGEMANN, T.; LUCHE, H. S.; OLIVEIRA, A. C. Seeding density in wheat: the more, the merrier? **Scientia Agricola**, v. 70, p. 176-184, 2013.

WERNER, C., RYELB, R. J., CORREIAC, O., BEYSCHLAGA, W. Structural and functional variability within the canopy and its relevance for carbon gain and stress avoidance. **Acta Oecologica**, v. 22, p. 129–138, 2001.

ZEGADA-LIZARAZU, W., MONTI, A., 2012. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. **Biomass Bioenergy**. v. 40, p 1–12. Doi: 10.1016/j.biombioe.2012.01.048.

## ANEXO A – PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E ANÁLISES DE SOLO

**Figura 1:** Principais parâmetros meteorológicos referentes ao período de março a agosto de cada ano de cultivo do experimento (2015 e 2016) em Pentecoste, CE, Brasil.



Fonte: FUNCEME ([www.funceme.br](http://www.funceme.br)). T: temperatura. UH: Umidade Relativa. P: precipitação mensal acumulada. T (9 h) = T (09:00); T (15) = T (15:00); RH (9 h) = RH (09:00); UR (15 h) = UR (15:00)

**Tabela 1<sup>1</sup>:** Condições físico-químicas do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm da área experimental da Fazenda Vale-do-Curu em Pentecoste, Ceará, 2015.

Prof. (cm)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	S	T
	----- cmolc.kg <sup>-1</sup> -----							
0 – 20	5,80	1,20	0,33	0,49	1,49	0,15	7,8	9,3
20 – 40	5,40	1,60	0,37	0,35	1,16	0,10	7,7	8,9
	V	M	C	N	MO	P assimilado	C/N	PST
	--- % ---			----- g.kg <sup>-1</sup> -----				
0 – 20	84	2	6,66	0,73	11,48	0,086	9	4
20 – 40	87	1	3,72	0,34	6,41	0,053	11	4
	D.G.	pH	CE	Areia G	Areia F	Silte	Arg.	Arg. Nat.
	g.cm <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> O	dS.m <sup>-1</sup>	----- g.kg <sup>-1</sup> -----				
0 – 20	1,46	6,7	0,85	68	593	249	90	61
20 – 40	1,55	7,0	0,66	50	571	271	108	92

Fonte: Laboratório de Solos/Água; Departamento de Ciências do Solo – UFC; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos-FUNCEME.

**Tabela 2<sup>2</sup>:** Condições físico-químicas do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm da área experimental da Fazenda Vale-do-Curu em Pentecoste, Ceará, 2016.

Prof. (cm)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	S	T
	----- cmolc.kg <sup>-1</sup> -----							
0 – 20	5,40	2,10	0,22	0,96	0,83	0,05	8,7	9,5
20 – 40	4,70	3,30	0,63	0,74	0,66	0,05	9,4	10,0
	V	M	C	N	MO	P assimilado	C/N	PST
	--- % ---			----- g.kg <sup>-1</sup> -----				
0 – 20	91	1	9,48	0,98	16,34	0,084	10	4
20 – 40	93	1	5,16	0,53	8,90	0,061	10	4
	D.G.	pH	CE	Areia G	Areia F	Silte	Arg.	Arg. Nat.
	g.cm <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> O	dS.m <sup>-1</sup>	----- g.kg <sup>-1</sup> -----				
0 – 20	1,37	6,6	0,58	60	556	261	123	80
20 – 40	1,6	6,8	0,70	69	578	258	95	77

Fonte: Laboratório de Solos/Água; Departamento de Ciências do Solo – UFC; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos-FUNCEME

## APÊNDICE A- LISTA DE FIGURA SEPARADAS POR CAPÍTULOS

<b>Capítulo 1</b>	<b>AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DO SORGO SACARINO NA REGIÃO SEMIÁRIDA: VARIEDADES E EFEITO DE ESPAÇAMENTO .....</b>	<b>24</b>
Figura 2 -	Diâmetro do colmo de duas variedades de sorgo sacarino produzidos no semiárido em 2015 e 2016 em função de diferentes espalhamentos entrelinhas .....	32
Figura 3	Índice relativo de clorofila de duas variedades de sorgo sacarino produzidos no semiárido em 2015 em função de diferentes espaçamentos entrelinhas .....	33
<b>Capítulo 2</b>	<b>PRODUTIVIDADE DE FITOMASSA DE SORGO SACARINO SOB EFEITO DO ARRANJO ESPACIAL .....</b>	<b>39</b>
Figura 2	Matéria fresca das folhas (MFF) e da panícula (MFP) de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio produzido no semiárido (Pentecoste-CE) .....	47
Figura 3	Matéria fresca do colmo e matéria seca da folha de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio produzido no semiárido (Pentecoste - CE) .....	49
Figura 4	Matéria seca do colmo (MSC) e matéria seca total (MST) de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio produzido no semiárido (Pentecoste-CE) .....	51
<b>Capítulo 3</b>	<b>POTENCIAL DO CALDO DE SORGO SACARINO COMO FONTE DE ETANOL PARA REGIÕES DO SEMIÁRIDO: VARIEDADES E EFEITO DO ARRANJO ESPACIAL .....</b>	<b>58</b>
Figura 2	Rendimento do caldo (RC) e peso do caldo (PC) de duas variedades de sorgo sacarino produzidos no semiárido em 2015 e 2016 em função de diferentes espaçamentos entrelinhas e entre plantas .....	65

Figura 3	Sólidos solúveis totais (SST) e etanol de duas variedades de sorgo sacarino produzidos no semiárido em 2016 em função de diferentes espaçamentos entrelinhas e entre plantas .....	66
<b>Capítulo 4</b>	<b>QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO SACARINO [<i>Sorghum bicolor</i> (L.) MOENCH.] EM RESPOSTA À DENSIDADE DE PLANTIO NA REGIÃO SEMIÁRIDA .....</b>	<b>72</b>
Figura 2	Número de sementes por panícula (A), índice de velocidade de germinação (B) e primeira porcentagem de germinação em primeira contagem aos quatro dias após semeadura (C) de sementes de sorgo sacarino de duas cultivares produzidas em região semiárida utilizando diferentes espaçamentos entrelinhas .....	83

## APÊNDICE B - LISTA DE TABELAS SEPARADAS POR CAPÍTULOS

<b>Capítulo</b>	<b>AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DO SORGO SACARINO NA REGIÃO SEMIÁRIDA: VARIEDADES E EFEITO DE ESPAÇAMENTO .....</b>	<b>24</b>
Tabela 3	Altura da planta ( $AL^{1e2}$ ), número de folhas ( $NF^{1e2}$ ) e ângulo da folha ( $ANG^{1e2}$ ) de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes espaçamentos entrelinhas .....	29
Tabela 4	Índice relativo de clorofila, clorofila a ( $Clor\ a^1$ ), clorofila b ( $Clor\ b^1$ ), clorofila total ( $Clor\ total^1$ ) e razão clorofila a/b ( $Raz\ a/b^1$ ) de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes espaçamentos entrelinhas .....	30
Tabela 5	Resumo da ANOVA das variáveis diâmetro médio do colmo ( $Diam^{1e2}$ ), clorofila a ( $Clor\ a^2$ ), clorofila b ( $Clor\ b^2$ ), clorofila total ( $Clor\ total^2$ ) e razão clorofila a/b ( $Raz\ a/b^2$ ) de duas variedades de sorgo sacarino em função de diferentes espaçamentos entrelinhas .....	31
<b>Capítulo</b>	<b>PRODUTIVIDADE DE FITOMASSA DE SORGO SACARINO SOB EFEITO DO ARRANJO ESPACIAL .....</b>	<b>39</b>
Tabela 3	Matéria fresca total ( $MFT^{1e2}$ ), matéria fresca da panícula ( $MFP^1$ ), matéria seca da panícula ( $MSP^{1e2}$ ) de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio produzido no semiárido (Pentecoste-CE) .....	44
Tabela 4	Resumo da ANOVA para variável com dados normais e normalizados pelo sistema box-cox: Matéria fresca da folha ( $MFF^{1e2}$ ), da panícula ( $MFP^1$ ), do colmo ( $MFC^{1e2}$ ), matéria seca da folha ( $MSF^{1e2}$ ), do colmo ( $MSC^{1e2}$ ) e total ( $MST^{1e2}$ ) de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio produzido no semiárido (Pentecoste-CE) .....	45
<b>Capítulo</b>	<b>POTENCIAL DO CALDO DE SORGO SACARINO COMO FONTE DE ETANOL PARA REGIÕES DO SEMIÁRIDO: VARIEDADES E EFEITO DO ARRANJO ESPACIAL .....</b>	<b>58</b>

Tabela 3	Carboidratos sólidos totais (CST <sup>1e2</sup> ), sólidos solúveis totais (SST <sup>1</sup> ) e Etanol <sup>1</sup> de sorgo sacarino submetidos a diferentes densidades de plantio .....	63
Tabela 4	Resumo da ANOVA das variáveis rendimento do caldo (RCt <sup>1e2</sup> ), peso do caldo (PCt <sup>1e2</sup> ), sólidos solúveis totais (SST <sup>2</sup> ) e etanol ( <sup>2</sup> ) de dois genótipos de sorgo sacarino submetido a diferentes densidades de plantio .....	64
<b>Capítulo</b>	<b>QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO SACARINO [<i>Sorghum bicolor</i> (L.) MOENCH.] EM RESPOSTA À DENSIDADE DE PLANTIO NA REGIÃO SEMIÁRIDA .....</b>	<b>72</b>
Tabela 2	Parâmetros físicos e fisiológicos de sementes de duas variedades de sorgo sacarino submetidas a diferentes densidades de plantio .....	77
Tabela 3	Resumo da análise de variância para variáveis com dados normalizados pelo sistema Box-Cox para variedade (V), espaçamentos entrelinhas (EL) e espaçamentos entre plantas (EP): teor de água de sementes (SWC), número de sementes por panícula (NSP), índice de velocidade de germinação (IVG), primeira contagem de germinação (PC), comprimento de raiz (CR) e envelhecimento acelerado (EA), em cultivares de sorgo sacarino produzidas na região semiárida .....	80
Tabela 4	Teor de umidade de sementes e índice de velocidade de germinação em duas cultivares de sorgo sacarino produzidas na região semiárida utilizando diferentes espaçamentos entrelinhas .....	81
Tabela 5	Primeira contagem de germinação e comprimento de raiz em duas cultivares de sorgo sacarino produzidas na região semiárida usando diferentes espaçamentos entre plantas .....	84
Tabela 6	Percentual de sementes germinadas após avaliação do envelhecimento acelerado em duas cultivares de sorgo sacarino produzidas no semiárido utilizando diferentes espaçamentos entre planta (EP) .....	86