



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

JOAN CARLOS SANTOS DE ASSIS

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO CULTIVADOS SOB ESTRESSE
HÍDRICO

CAMPINA GRANDE – PB

2021

JOAN CARLOS SANTOS DE ASSIS

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO CULTIVADOS SOB ESTRESSE
HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba / Embrapa Semiárido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Área de Concentração: Agricultura Familiar e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. D.Sc. Paulo Ivan Fernandes Júnior

CAMPINA GRANDE – PB

2021

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A848s Assis, Joan Carlos Santos de.
Seleção de genótipos de sorgo cultivados sob estresse hídrico [manuscrito] / Joan Carlos Santos de Assis. - 2021.
55 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2021.

"Orientação : Prof. Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior, Departamento de Biologia - CCBS."

1. Cultura energética. 2. Sorghum bicolor. 3. Plantas C4. 4. Estresse hídrico. I. Título

21. ed. CDD 584.9

JOAN CARLOS SANTOS DE ASSIS

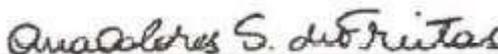
**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO CULTIVADOS SOB ESTRESSE
HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba / Embrapa Semiárido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Área de Concentração: Agricultura Familiar e Sustentabilidade.

Aprovado em: 02/12/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas
(D.Sc., Tecnologias Energéticas e Nucleares) – UFRPE – Examinadora Externa



Prof. Dr. Carlos Henrique Salvino Gadelha Meneses (D.Sc., Biotecnologia Vegetal)
UEPB – Examinador Interno



Prof. Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior (D.Sc. em Ciência do Solo)
Embrapa Semiárido – Orientador

*À minha família, em especial aos meus pais
Maria das Graças e José Carlos, por todo
o incentivo para a realização dos meus
sonhos.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), à Embrapa Semiárido e à CAPES pela oportunidade de enriquecer meus conhecimentos profissionais.

Agradeço à Equipe do Laboratório de Microbiologia do Solo da Embrapa Semiárido, por toda amizade e colaboração nas atividades realizadas.

Ao meu orientador Paulo Ivan Fernandes Júnior pela orientação e parceria ao longo de todo o mestrado.

Aos meus pais José Carlos e Maria das Graças, por todo apoio fornecido ao longo da minha vida acadêmica.

Aos meus companheiros de turma do Mestrado em Ciências Agrárias, pelo apoio simultâneo em busca do mesmo objetivo, em especial a Auta Paulina.

Aos amigos que fiz ao longo da minha permanência na cidade de Petrolina-PE, amigos esses que dividiram comigo o dia a dia na busca de concluir mais essa etapa da minha vida, me apoiando e incentivando, Cláudia, Jonathan, Rafael, Raphael, Ruth, Thaíse, Valéria, Raira, Geovane, Wesley, Jessica, Luiz e Viviane.

Todos esses agradecimentos só foram possíveis graças a Deus que me abençoou e guiou meu caminho, dando força e sabedoria para continuar minha caminhada mesmo em determinados momentos tão difíceis.

RESUMO

O sorgo pertence à família *Poaceae*. O gênero *Sorghum* é caracterizado por espigas que nascem aos pares. Trata-se de uma planta anual, embora seja uma erva perene, nos trópicos, a sua colheita pode ser feita várias vezes ao ano. O sorgo é um dos cereais mais encontrados no mundo, no Brasil ele é cultivado em vários estados, principalmente nas regiões centro-oeste e sudeste, que corresponde a 88% da produção nacional. Para a safra total 2020/2021, a estimativa é de 2,3 milhões de toneladas produzidas, em uma área de 864,5 mil hectares. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o desenvolvimento dos genótipos de sorgo sob condições de estresse hídrico, por meio de análises fisiológicas, química e de crescimento vegetativo, a fim de selecionar o (s) melhor (es) genótipo (s) aclimatado (s) ao estresse. O ensaio foi conduzido nas dependências da Embrapa Semiárido, localizada em Petrolina – PE, no período de setembro a novembro de 2020. Foram utilizados 112 vasos de 21 litros, com 38 cm de comprimento e 38 cm de profundidade. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em quatro blocos com um arranjo fatorial de 7 x 2, sendo distribuídos da seguinte forma; sete genótipos de sorgo, dois regimes hídricos (irrigado e estresse) e duas coletas, sendo quatro repetições. Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de planta (ALT) (cm), massa seca da parte aérea (MSPA) (g), massa seca das raízes (MSR) (g), teor de nitrogênio da parte aérea, Fluorescência com os seguintes componentes, F_v'/F_m' (Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema), PhiPS2 (Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema II), qP (Quenching de Extinção Fotoquímica) e ETR (Taxa de Transporte de Elétrons) e Trocas Gasosas com os seguintes componentes, Photo (Fotossíntese) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Cond (Condutância Estomática) (gs) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Trmmol (Transpiração) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e Vpdl (déficit de pressão de vapor de água entre a folha e a atmosfera). Em uma análise geral o melhor genótipo aclimatado ao estresse hídrico foi o Volumax, em relação ao crescimento vegetativo os melhores genótipos sob condições de estresse hídrico foram Volumax e IPA SF15 e no teor de nitrogênio os melhores genótipos foram Agri 002E e IPA SF15.

Palavras-chave: Cultura Energética. Plantas C4. *Sorghum bicolor* (L.).

ABSTRACT

Sorghum belongs to the family *Poaceae*. The genus *Sorghum* is characterized by spikes that grow in pairs. It is an annual plant, although it is a perennial herb, in the tropics, it can be harvested several times a year. Sorghum is one of the most commonly found cereals in the world, in Brazil it is cultivated in several states, mainly in the Midwest and Southeast regions, 88% of national production. For the total harvest 2020/2021, the estimate is 2, 3 million tons produced, in an area of 864.5 thousand hectares. The objective of this research was to evaluate the development of sorghum genotypes under water stress conditions, through physiological, chemical, and vegetative growth analyses, to select the best-acclimated genotype(s) to stress. The trial was conducted at Embrapa Semiárido, located in Petrolina – PE, from September to November 2020. 112 pots of 21 liters, 38 cm long and 38 cm deep. The experimental design was completely randomized in four blocks with a factorial arrangement of 7 x 2, distributed as follows; seven sorghum genotypes, two water regimes (irrigated and stress), and two collections, four replicates. The following growth variables: plant height (HEIGHT) (cm), shoot dry mass (SDM) (g), root dry mass (RDM) (g), shoot nitrogen content, Fluorescence with the following components, F_v'/F_m' (Photosystem Effective Quantum Yield), PhiPS2 (Photosystem II Effective Quantum Yield), qP (Photochemical Extinction Quenching) and ETR (Electron Transport Rate) and Gas Exchange with the following components, Photo (Photosynthesis) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Cond (Stomatic Conductance) (gs) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Trmmol (transpiration) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) and Vpdl (deficit of water vapor pressure between the sheet and the atmosphere). In a general analysis, the best genotype acclimated to water stress was Volumax, about vegetative growth the best genotypes under water stress conditions were Volumax and IPA SF15 and for nitrogen content, the best genotypes were Agri 002E and IPA SF15.

Keywords: Energy Culture. C4 Plantts. *Sorghum bicolor* (L.).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos genótipos de sorgo utilizados no experimento, Petrolina – PE, 2020.	21
Tabela 2 - Caracterização química do solo utilizado no experimento de genótipos de sorgo	22
Tabela 3 - Resumo da análise de variância e valores médios para as amostras de sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na primeira coleta	24
Tabela 4 - Massa seca da raiz em sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na primeira coleta	26
Tabela 5 - Nitrogênio em sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na primeira coleta	27
Tabela 6 - Resumo da análise de variância e valores médios para amostras de sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na segunda coleta	29
Tabela 7 - Massa seca da parte aérea, em sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na segunda coleta	31
Tabela 8 - Massa seca da raiz, em sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na segunda coleta	32
Tabela 9 - Determinação do teor de nitrogênio, em sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na segunda coleta	33
Tabela 10 - Resumo da análise de variância e valores médios para atributos de fluorescência de sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na primeira e segunda coleta	36
Tabela 11 - Resumo da análise de variância e valores médios para atributos de Trocas Gasosas de sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na primeira e segunda coleta.	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Delimitação do Semiárido brasileiro (Base cartográfica: IBGE, 2010).....	17
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

(AL) - Alumínio	(Mg) - Magnésio
(ALT) - Altura de Planta	(MSPA) - Massa Seca da Parte Aérea
(ARS) - Argissolo	(MSR) – Massa Seca da Raiz
(Ca) - Cálcio	(N) - Nitrogênio
(CE) - Condutividade Elétrica	(Na) – Sódio
(CONAB) - Companhia Nacional de Abastecimento	(NS) - Não Significativo
(Cond) - Condutância Estomática	(P) - Fósforo
(CTC) - Capacidade Troca de Cátions	(pH) - Potencial Hidrogeniônico
(DAE) - Dias após a Emergência	(PhiPS2) - Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema II
(ETR) - Taxa de Transporte de Elétrons	(Photo) - Fotossíntese
(EMBRAPA) - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	(qP) - Quenching de Extinção Fotoquímica
(FV) - Fontes de Variação	(RH) - Regime Hídrico
(Fv'/Fm') - Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema	(SB) - Saturação de Bases
(G) - Gramas	(Trmmol) - Transpiração
(GL) - Graus de Liberdade	(TSM) - Temperatura da Superfície do Mar
(H+AL) - Acidez Potencial	(V) - Variedade
(IAC) - Instituto Agrônomo de Campinas	(Vpdl) - Déficit de Pressão de Vapor de Água entre a Folha e a Atmosfera
(K) - Potássio	(ZCIT) - Zona de Convergência Intertropical
(L) - Litros	

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Geral	13
2.2	Específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	O sorgo e sua importância econômica	14
3.2	Estresse hídrico na cultura do sorgo	15
3.3	A região Semiárida brasileira	17
3.4	A Caatinga	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1	Material vegetal	21
4.2	Localização, implantação e condução do experimento	21
4.3	Variáveis de crescimento vegetativo	22
4.4	Análise química	22
4.5	Trocas gasosas	23
4.6	Análises estatísticas	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	Valores médios das análises da primeira coleta	24
5.1.1	<i>Análises de crescimento vegetativo em função do regime hídrico primeira coleta</i>	26
5.1.2	<i>Análise química em função do regime hídrico</i>	27
5.2	Valores médios das análises da segunda coleta	29
5.2.1	<i>Análises de crescimento vegetativo em função do regime hídrico segunda coleta</i>	31
5.2.2	<i>Análise química em função do regime hídrico na segunda coleta</i>	33
5.3	Valores médios das análises de fluorescência na primeira e segunda coleta	35
5.4	Valores médios das análises de trocas gasosas na primeira e segunda coleta	38
6	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor L.*), originário do Noroeste da África, é uma cultura que se destaca em meio ao setor agropecuário, é o quinto cereal mais produzido do mundo perdendo apenas para o trigo, arroz, milho e cevada. Dentre as vantagens relatadas na literatura, a planta de sorgo é citada por apresentar menor custo de produção e com valor nutritivo bem próximo em relação ao milho, grande potencial energético, alta digestibilidade e adaptação em locais com clima seco e quente, nos quais, os cultivos de outras espécies são prejudicados (NAEINI et al., 2014; PINEDO et al., 2019).

Dentre as culturas forrageiras, o sorgo é caracterizado por apresentar rendimento mesmo sob o estresse ambiental. É uma cultura tradicional tolerante à seca com potencial para sustentar altos rendimentos, mesmo nos ambientes onde a água é limitante. É uma planta do tipo C4, ereta, constituída a partir de um tronco principal com desenvolvimento dependente do genótipo e das condições de cultivo, como temperatura e fontes de nutrientes (CIAMPITTI & PRASAD, 2016).

A grande maioria dos materiais genéticos de sorgo requerem temperaturas superiores a 21°C para um bom crescimento e desenvolvimento. A planta de sorgo tolera mais o déficit de água e o excesso de umidade no solo do que a maioria dos outros cereais e pode ser cultivada numa ampla faixa de condições de solo. Durante a primeira fase de crescimento das culturas, que vai do plantio até a iniciação da panícula, é muito importante a rapidez da germinação, a emergência e o estabelecimento da plântula, uma vez que a planta é pequena, tem um crescimento inicial lento e um pobre controle de plantas daninhas nesta fase pode reduzir seriamente o rendimento de grãos (MAGALHÃES et al., 2003).

As adaptações da cultura a uma gama de ambientes permitem o seu desenvolvimento e expansão em regiões de cultivo com distribuição irregular de chuvas e em sucessão a culturas de verão (SILVA, 2017). Uma série de características torna a cultura de sorgo resistente à seca, podendo responder favoravelmente em áreas com baixa precipitação e irrigação suplementar. Porém, diferenças consideráveis entre variedades são observadas em resposta a irrigação em relação à resistência a seca e rendimentos nessas condições limitantes (TARDIN & RODRIGUES, 2008; FAO, 2021).

Um dos maiores problemas debatidos na atualidade são os efeitos das mudanças climáticas e o conseqüente impacto em diferentes biomas. O desequilíbrio causado por condições meteorológicas adversas, como alteração do padrão de temperatura, umidade do ar e precipitação, afeta significativamente a disponibilidade hídrica de uma região, fator este imprescindível para a agricultura (BRASILEIRA et al., 2021).

Apesar de estar entre os cereais com maior tolerância à seca, em situações de estresse hídrico acentuado, o sorgo pode sofrer redução de produtividade (REDDY et al., 2011; BATISTA et al., 2017). O impacto causado pelo estresse hídrico na cultura do sorgo pode ser mitigado pela utilização de genótipos mais tolerantes à seca, sendo assim de grande importância estudos que avaliem o desempenho dos genótipos de sorgo em diferentes ambientes com restrição hídrica (BRASILEIRA et al., 2019).

Estudos relatam que o estresse hídrico provoca a diminuição do período de crescimento e desenvolvimento das plantas, culminando com a redução da produtividade. Diante deste cenário, pesquisas que buscam uma maior produtividade de alimentos com a pouca disponibilidade hídrica tornam-se essenciais (REIS, 2019). Daí a importância desse estudo que teve como objetivo selecionar os principais genótipos de sorgo resistentes ao estresse hídrico.

2 OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar o desenvolvimento de genótipos de sorgo sob condições de estresse hídrico, por meio de análises fisiológicas, químicas e de crescimento vegetativo, a fim de selecionar o (s) genótipo mais tolerante ao estresse.

2.2. Específicos

- Avaliar alterações fisiológicas provocadas pelo estresse hídrico em diferentes genótipos de sorgo;
- Estimar os componentes de crescimento vegetativo a fim de identificar o genótipo mais responsivo em condições de estresse hídrico;
- Analisar o teor de nitrogênio dos genótipos submetidos ao estresse hídrico;
- Identificar qual (is) genótipo (s) se destaca (m) sob o estresse hídrico.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O sorgo e sua importância econômica

O sorgo é um dos cereais mais encontrados no mundo, no Brasil ele é cultivado em vários estados, principalmente nas regiões centro-oeste e sudeste (88% da produção nacional), para a safra total 2020/2021, a estimativa é de 2,3 milhões de toneladas produzidas, em uma área de 864,5 mil hectares, 3,5% maior que a safra anterior. Destaque para o estado de Goiás maior produtor de sorgo no Brasil, com um total de 1,3 milhão de toneladas (CONAB, 2021).

O sorgo pertence à família herbácea *Poaceae*. O gênero *Sorghum* é caracterizado por espigas que nascem aos pares. Trata-se de uma planta anual, embora seja uma erva perene, nos trópicos, a sua colheita pode ser feita várias vezes ao ano (COSTA, 2017).

A cultura possui um importante papel na alimentação animal, além de ser utilizada de diferentes formas, tais como, pastejo, massa seca e silagem, é usada como matéria prima para produção de álcool anidro, bebidas alcoólicas, colas e tintas; o uso de suas panículas para produção de vassouras; extração de açúcar de seus colmos; até as inúmeras aplicações de sua forragem na nutrição de ruminantes, é uma cultura notável nos atributos de produtividade, adaptação e resistência (TANAKA, 2010, SILVA et al., 2021). O sorgo se destaca principalmente por ter uma produção significativa nas diversas condições das regiões, tornando uma opção em substituição ao milho, e pode ser utilizado também na alimentação humana, tudo vai depender da aptidão do sorgo a ser cultivado (LOPES, 2016). Na produção animal o interesse é voltado para o sorgo forrageiro e granífero. Segundo Miranda et al. (2006), o sorgo forrageiro tradicional é uma planta de porte alto, acima de 2,7 metros de altura, produtividade de massa verde volumosa no primeiro corte e com um rebrote de colheita de 30 a 70%, já o sorgo granífero é de porte baixo, menor que 1,70 metros de altura, produtividade de grãos alta com baixa produção de massa verde.

Segundo Ciampitti e Prasad (2016) a cultura tem valor nutricional com uma composição global dos grãos de 70-80% de carboidratos, 2-5% de gordura, 1-4% de fibra e cerca de 11-13 % de proteína, que é livre de glúten sendo uma vantajosa fonte de alimento de pessoas que sofrem com problemas celíacos (intolerância ao glúten). Os sorgos podem ainda ser classificados como granífero; forrageiro para produção de silagem e sacarino; forrageiro para pastejo ou corte, verde, fenação e cobertura morta e sorgo vassoura, todos se diferem

pela altura de plantas, quantidades de colmo, folhas e panículas, que se refletem sobre a produtividade, composição química e valor nutritivo (BUSO et al., 2011).

As etapas de crescimento da cultura do sorgo são três: a primeira fase de crescimento, estágio de crescimento 1 (EC1), vai do plantio até a iniciação da panícula. A fase seguinte (EC2) compreende a iniciação da panícula até o florescimento e; a terceira fase de crescimento (EC3) vai da floração à maturação fisiológica (MAGALHÃES; DURÃES, 2003).

Por ser uma planta tipo C4 o sorgo, gera como primeiro produto da fotossíntese um composto com 4 carbonos, o que proporciona um metabolismo mais eficiente minimizando a perda de água pela regulação da abertura dos estômatos que possibilita maior tolerância a elevados níveis de radiação solar respondendo com altas taxas fotossintéticas (CUNHA, 2010).

3.2. Estresse hídrico na cultura do sorgo

A falta de água é um dos fatores mais limitantes para o desenvolvimento das plantas, sendo essencial no crescimento da vegetação e na exploração dos recursos naturais da região Nordeste, muito por causa do clima instável desde o super-úmido até o semiárido, ficando as chuvas restritas a alguns poucos meses do ano, ocasionando o estresse hídrico uma ameaça que afeta o rendimento e a fisiologia vegetal (QUEIROZ et al., 2005; KAVAMURA et al., 2013; SOUSSI et al., 2015).

Segundo Rezende (2011) o sorgo é uma planta extremamente forte, com alta capacidade de rebrota, devido à capacidade de conservar ativo seu sistema radicular. É observado altas taxas de rebrota (cerca de 90%) em híbridos avaliados para o corte. A intensidade da rebrota é proporcional à sanidade da primeira época de corte, e o rendimento da rebrota depende do número de plantas.

Entre os fatores limitantes destacam-se as respostas à temperatura, desenvolvimento e crescimento, que diferem entre as espécies vegetais ao longo de todo seu ciclo de vida, são principalmente respostas fenológicas, isto é, estão relacionadas às fases de amadurecimento da planta (HATFIELD & PRUEGER, 2015). Os estresses bióticos e abióticos podem ocorrer de forma agressiva, sendo relatada a influência da temperatura combinada com patógenos de plantas, indicando que altas temperaturas aumenta a susceptibilidade das plantas às doenças

(RAMEGOWDA & SENTHIL-KUMAR, 2015).

Outro fator considerado um dos maiores problemas de degradação no mundo, é a salinização, podendo resultar em limitação no crescimento e desenvolvimento devido ao estresse osmótico, a presença de íons tóxicos, com alta concentração de sódio que influencia a estabilidade da planta (YAN, 2015). Todos esses processos limitam e afetam o rendimento de culturas no mundo inteiro (SHRIVASTAVA & KUMAR, 2014).

Segundo Foloni (2008) a grande vantagem do sorgo é a capacidade de rebrota, após a colheita dos grãos ou da parte aérea da planta. Sendo assim, é possível viabilizar várias safras, de grãos, silagem ou massa seca para cobertura do solo sem a necessidade de replantar a cultura novamente, ou mesmo conduzir a rebrota da lavoura.

De acordo com Zago (1997), semeaduras de sorgo efetuadas em regiões do Brasil Central proporcionaram produções acumuladas de 9 a 12 toneladas por hectares de biomassa seca, em três cortes consecutivos sem irrigação, o que representou produções de 40 a 60 toneladas por hectare de forragem. Já a rebrota conduzida para colheita de grãos, chega a uma produtividade de 80% do rendimento obtido na primeira colheita (SANTOS, 2006).

O sorgo forrageiro tem contribuído fortemente, no que se refere à oferta de massa seca, principalmente na época de escassez, para os rebanhos da região Semiárida. Segundo Botelho et al. (2010), no Brasil, devido às condições climáticas, a disponibilidade de forragens é irregular durante todo ano, com períodos alternados e longos, de excesso e escassez de pastagens. Visando aumentar a produção de forragens sobre o desempenho do rebanho, é necessário que o excesso de forragens produzido no período chuvoso seja conservado e guardado para ser utilizado no período seco, garantindo aos animais boa qualidade da alimentação no decorrer do ano.

A falta de chuvas no semiárido nordestino é o principal fator que afeta a produção agropecuária dessa região, interferindo no crescimento dos pastos e causando um fenômeno conhecido por estacionalidade da produção forrageira, alternância entre períodos de crescimento vigoroso e a paralisação ou diminuição do ritmo de crescimento das plantas (CARVALHO et al., 2015). Sendo assim, é importante a aplicação de estratégias específicas no local para obter maior rendimento na produção de forragens e conseqüentemente

manutenção dos rebanhos na seca, a exemplo da ensilagem (PERAZZO et al., 2013). Segundo Landau e Sans (2010) a perda de produtividade em função da exposição da cultura a déficit hídrico, tem influência direta na taxa fotossintética e varia principalmente em função do estágio fenológico das plantas, do tempo de duração do déficit hídrico e do genótipo das plantas.

Para Magalhães (2012) o estresse hídrico no sorgo no estágio EC1, provoca menos danos à planta do que em EC2. No estágio EC2, a escassez de água vai resultar na redução das taxas de fotossíntese, crescimento da panícula, folhas e no número de sementes. Esses efeitos são devidos a uma redução na área foliar, resistência estomática aumentada, fotossíntese diminuída e a uma desorganização do estado hormonal do estado fisiológico da planta. Quando a falta de água acontece no EC3, o resultado é a senescência rápida das folhas inferiores, com consequente redução no rendimento de grãos.

3.3. A região Semiárida brasileira

O Nordeste abrange 18,27% do território brasileiro, possuindo uma área de 1.561.177,8 km², dos quais 969.589 km² abrangem o Semiárido nordestino, compreendendo uma área superior à soma dos territórios da Alemanha, Itália, Cuba e Costa Rica (ARAÚJO, 2011). Inclui os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, a maior parte da Paraíba e Pernambuco, sudeste do Piauí, oeste de Alagoas e Sergipe, região central da Bahia e uma faixa que se estende em Minas Gerais, seguindo o Rio São Francisco, juntamente com um enclave no vale seco da região do rio Jequitinhonha (BRASIL, 2005).



Figura 1. Delimitação do Semiárido brasileiro (Base cartográfica: IBGE, 2010).

Segundo Correia et al. (2011) o clima da região é caracterizado por temperatura elevada e alto índice de evapotranspiração (perda de água do solo por evaporação e a perda de água da planta por transpiração), as precipitações chuvosas são inferiores a 800 mm por ano e acontecem em períodos irregulares, além disso, aproximadamente 80% do solo da região é formada por rochas cristalinas que dificultam a acumulação de água. A precipitação pluviométrica é marcada pela variabilidade espaço-temporal, que, resulta na frequente ocorrência de dias sem chuva, conseqüentemente, em eventos de “seca”. De acordo com Marengo (2006), o Semiárido brasileiro sempre foi acometido de extremos eventos de secas, contudo, não é rara a ocorrência de grandes enchentes. Esses eventos estão diretamente associados à produção agropecuária, sendo os principais responsáveis pelo sucesso, ou não, dessa importante atividade na região.

Em um conjunto de informações fornecidas por Oliveira e Vianna (2005), a apresentação da cronologia das secas, diminui bastante os dados de produção de forragens, frutas, verduras, legumes, ovos, dentre outros. Marengo (2006) afirma que ocorrem entre 18 e 20 anos de seca para cada 100 anos, entretanto esse acontecimento tem sido mais frequente a partir do século XX e se intensificado atualmente. Muito por causa do aquecimento global que está desencadeando bruscas mudanças nos climas, aumento dos oceanos e extinção em massa de animais e vegetais em todo o mundo, um exemplo concreto disso, são as ondas de calor históricas registradas no Canadá e o frio extremo no Brasil (ONU, 2021).

A ocorrência de veranicos (períodos de estiagem, acompanhado por calor intenso, forte insolação e baixa umidade relativa em plena estação chuvosa ou em pleno inverno) e a própria variabilidade interanual da precipitação são, decorrentes de fenômenos meteorológicos de grande escala, como o El Niño (SOUZA et al., 2001). Entretanto, há anos em que se verifica a ocorrência de secas sem o registro deste fenômeno. Assim, a variabilidade interanual da pluviometria nesta região, também, está associada a variações de padrões de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre os oceanos tropicais (Atlântico e Pacífico), os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical

(ZCIT) sobre o Oceano Atlântico (NOBRE; MELO, 2001) e influenciam na ocorrência das precipitações, em sua quantidade, intensidade e frequência.

O valor anual da precipitação nem sempre guarda correspondência com a qualidade da estação chuvosa para o sucesso da atividade agropecuária, vez que podem ocorrer períodos prolongados de estiagem, que se intercalam com episódios de chuvas mais intensas, ocasionando a conhecida “seca verde”. Dessa forma, a distribuição temporal da chuva é de extrema importância, as chuvas são concentradas em apenas três ou quatro meses e ocorrem em poucos dias do ano, sendo, em geral, intensas e intercaladas por períodos de veranicos (SILVA et al., 2010). Por fim, os elementos que caracterizam o clima, a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento são aqueles que exercem maior efeito sobre a evaporação. Este último parâmetro varia em função da latitude, em consequência da altitude e em função da distância do local em relação ao oceano (ALLEN et al., 1998).

3.4. A Caatinga

A Caatinga é o ecossistema predominante na região semiárida, cuja flora é composta por árvores e arbustos caracterizados pela simplicidade, tolerância e adaptação às condições climáticas extremas da região. O nome “Caatinga” é de origem tupi-guarani e significa “floresta branca”, que certamente caracteriza bem o aspecto da vegetação na estação seca, quando as folhas caem e apenas os troncos brancos e brilhosos das árvores e arbustos permanecem na paisagem (ALBUQUERQUE; BANDEIRA, 1995).

Entre os biomas brasileiros, é o único e exclusivo, que apresenta distribuição geográfica restrita ao território nacional, porém sempre foi visto como espaço pouco importante, sem prioridade e sem necessidade de conservação alguma. Na literatura, a Caatinga tem sido geralmente descrita como pobre, porém, estudos recentes mostram o inverso, sendo registrado um número considerável de espécies endêmicas e inéditas para a região. Por ser um ecossistema ainda pouco estudado, descrições de novas espécies da fauna e flora vêm sendo registradas com frequência, indicando, ainda, o pouco conhecimento de sua biodiversidade e de seus processos ecológicos (CASTELETTI et al., 2004).

A vegetação da caatinga, apresenta algumas adaptações e modificações anatômicas, morfológicas e fisiológicas, como aprofundamento das raízes, expansão do caule, perda de folhas, e até ajuste do metabolismo osmótico em resposta às condições, não só do clima, mas às condições do meio onde habitam, mantendo assim a sobrevivência e a proliferação de suas espécies (TROVÃO et al., 2007). De acordo com Prado (2003), muitas espécies vegetais apresentam estruturas de proteção no caule e folhas, com espinhos, acúleos e até mesmo tricomas urticantes, as plantas apresentam microfilia, ou seja, folhas pequenas e são denominadas de xerófitas. Mesmo em um ambiente adverso e hostil, muitas plantas desenvolveram-se, dentre elas, destacam-se: o Cacto (*Cactaceae*), a Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), o Facheiro (*Pilosocereus pachycladus*), o Juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), o Mandacaru (*Cereus jamacaru*), a Palma (*Opuntia cochenillifera*), o Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) e o Xique-xique (*Pilocereus gounellei*).

Outra característica marcante das espécies vegetais encontradas na Caatinga é a capacidade, de algumas plantas, realizar fotossíntese e produzir nutrientes mesmo não apresentando folhas, isso se deve ao fato de que essas espécies possuem caule verde com células constituídas por clorofila, pigmento responsável por captar a luz e garantir que organismos consigam produzir seu alimento por meio da fotossíntese. Para evitar a perda de água muitas plantas perdem suas folhas na estação seca, parecendo estar mortas, no entanto, permanecem vivas, utilizando suas raízes para obter água armazenada no solo (MORAES, 2016). Para sobreviver as várias adversidades do ambiente, as plantas utilizam mecanismos e adaptações como: seus espinhos, raízes bem desenvolvidas, armazenamento de água, produção de uma cera que reveste suas folhas perdendo assim menos água na transpiração, fechamento dos estômatos, entre outros (MAIA et al., 2017).

De acordo com o MMA (2019), o desmatamento descontrolado já atinge 46% da área do bioma e ocorre devido ao consumo de lenha nativa explorada de forma ilegal e insustentável, para fins domésticos e industriais, ao pastoreio, a queimadas sem controle e à conversão para pastagens e agricultura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material vegetal

Foram utilizados sete genótipos de sorgo advindos da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas – Minas Gerais e do comércio local (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos genótipos de sorgo utilizados no experimento, Petrolina – PE, 2020.

Sorgo	Ciclo	Tipo	Produção	Empresa
Agri 002E	Médio	Forageiro	Alta	Agricomseeds/Bolívia
BRS Ponta Negra	Médio	Forageiro	Alta	Embrapa
IAC Santa Elisa	Longo	Biomassa	Baixa	Instituto Agronômico de Campinas (IAC)
IPA SF15	Médio	Forageiro	Alta	IPA e Alagoas
Volumax	Semiprecoce	Forageiro	Alta	Agrocerec
CMSXS 5027	Médio	Biomassa	Alta	Embrapa
CMSXS 5017	Médio	Biomassa	Alta	Embrapa

4.2. Localização, implantação e condução do experimento

O ensaio foi conduzido nas dependências da Embrapa Semiárido (09° 09' S de 40° 22' W), localizada em Petrolina – PE, no período de setembro a novembro de 2020. O clima da região é caracterizado como tropical semiárido seco e quente, segundo classificação de Köppen (ALVARES, et al., 2013). O período de chuvas para a região é de janeiro a abril, com uma precipitação média de 535,5 mm anuais e com uma temperatura média anual de 26,0°C. A vegetação natural predominante no município é de mata nativa de Caatinga hiperxerófila. Uma amostra composta do solo utilizado no experimento foi analisada no Laboratório de Solos e Tecido Vegetal, para avaliar as suas características químicas, de acordo com Teixeira et al. (2017), que estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química do solo utilizado no experimento de genótipos de sorgo.

C.E mS.cm ⁻¹	pH -	C gkg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K	Na	Ca	Mg cmol _c dm ⁻³	Al	H+Al	SB	CTC	V %
0,96	6	0,0	9,3	0,42	0,13	2,3	1,20	0,00	1,4	4,1	5,5	73,8

C.E: Condutividade elétrica; pH: Potencial hidrogeniônico.; P: fósforo; K: potássio; Na: sódio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: acidez potencial; SB: saturação de bases; CTC: capacidade troca de cátions; V: saturação por bases.

Foram utilizados 112 vasos de 21 litros, com 38 cm de comprimento, 38 cm de profundidade e com perfurações ao fundo. Dentro de cada um dos vasos foi colocado as seguintes camadas, ao fundo uma camada de brita, uma tela para conter a mistura de solo (um Argissolo ARS) proveniente da estação experimental de Bebedouro (Petrolina, PE 09°09'S; 40°22'W) e areia que foram peneirados, misturados e homogeneizado. Foi realizada uma adubação em todos os vasos com 1 g de fosfato, 0,29 g de cloreto de potássio e 1 g de ureia. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em quatro blocos com um arranjo fatorial de 7 x 2, sendo distribuídos da seguinte forma; sete genótipos de sorgo, dois regimes hídricos (irrigado e estresse) e duas coletas, sendo quatro repetições. No laboratório fez-se um teste de germinação em placas de Petri com as sementes selecionadas e foi observado que 100% das mesmas germinaram. Ainda em setembro/2020 foi realizada a semeadura dos vasos, com seis sementes em cada vaso, todos os vasos foram irrigados com água potável, cerca de 3 L (litros) por vaso diariamente, após 20 dias da germinação foi realizado o desbaste, deixando duas plantas por vaso e aos 45 dias foi aplicado o estresse hídrico com a suspensão da irrigação. Após 5 dias do estresse foi realizada a primeira coleta, logo em seguida os demais vasos foram reidratados e coletados 5 dias DAE após a primeira coleta.

4.3. Variáveis de crescimento vegetativo

Foram avaliadas as seguintes variáveis de crescimento: altura de planta (ALT) (cm), mediu-se desde a base até o ápice da haste principal da planta; massa seca da parte aérea (MSPA) (g) e de raízes (MSR) (g), o material foi seco em estufa com circulação de ar forçada a temperatura de 65 °C, durante 20 dias até atingir massa constante, após a secagem o material foi pesado em balança de precisão e depois moído em moinhos de rolo tipo Wiley no Laboratório de Solos e Tecidos Vegetal.

4.4. Análise química

Foi quantificado o teor de nitrogênio (N) na parte aérea. A determinação de nitrogênio foi realizada no Laboratório de Microbiologia de Solos, realizando uma digestão sulfúrica, pelo método semi-micro-Kjeldahl (LIAO, 1981).

4.5. Trocas gasosas

As plantas de sorgo foram avaliadas no período da manhã entre 8:00 e 12:00 horas, no primeiro dia da aplicação do estresse hídrico, utilizando um analisador portátil de fotossíntese (IRGA – Infra Red Gas Analyzer, modelo LCpro-SD), sem fonte artificial de carbono e com fonte luminosa artificial de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{m}^{-1}$. Os parâmetros avaliados foram: Fluorescência com os seguintes componentes, F_v'/F_m' (Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema), PhiPS2 (Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema II), qP (Quenching de Extinguição Fotoquímica) e ETR (Taxa de Transporte de Elétrons) e Trocas Gasosas com os seguintes componentes, Photo (Fotossíntese) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Cond (Condutância Estomática) (gs) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Trmmol (Transpiração) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e Vpdl (déficit de pressão de vapor de água entre a folha e a atmosfera).

4.6. Análises estatísticas

Os dados coletados foram analisados usando o programa estatístico software R[®] e Rstudio[®] pacote Library ExpDes.pt. (R CORE TEAM, 2016), os quais foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação de médias pelo Teste de Scott-Knott com p-valores significativos a 5%, 1% e 0,1% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Valores médios das análises da primeira coleta

Os resultados dos valores médios (Tabela 3) da análise de variância com significância de p-valores a 5%, 1% e 0,1% para as amostras de sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos na primeira coleta apresentaram diferença estatística significativa, para os seguintes genótipos: Volumax, BRS Ponta Negra, CMSXS 5027 e Agri 002E para massa seca da parte aérea (MSPA), em relação a massa seca da raiz (MSR) os genótipos foram: IAC Santa Elisa e Volumax, na altura CMSXS 5027 e Volumax se destacaram, e na determinação do teor de nitrogênio foi o IPA SF15 e Agri 002E que obtiveram a diferença estatística significativa. Além disso houve uma diferença significativa estatística quando comparado os dois regimes hídricos (irrigado e seco), na qual a média da altura do regime seco obteve diferença estatística significativa. Os genótipos não mencionados e discutidos não obtiveram diferença estatística significativa.

Tabela 3. Resumo da análise de variância e valores médios para as amostras de sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na primeira coleta.

FV	GL	Valor de F			
		MSPA	MSR	Altura	N
Bloco	3	0,61 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,04 ^{ns}
Variedade (V)	6	5,63***	13,89***	9,38***	2,97*
Regime hídrico (RH)	1	0,80 ^{ns}	0,09 ^{ns}	6,30*	0,04 ^{ns}
V × RH	6	0,81 ^{ns}	6,00***	1,33 ^{ns}	7,48***
CV (%)		33,9	17,5	12,4	20,7
Variedade					
Agri 002E		13,60 a	16,36 b	37,45 b	17,55 a
CMSXS 5017		11,14 b	9,85 d	37,21 b	13,37 b
CMSXS 5027		13,67 a	17,39 b	44,90 a	16,00 b
IPA SF15		7,96 b	15,91 b	36,03 b	19,28 a
BRS Ponta Negra		16,08 a	14,12 c	37,95 b	15,25 b
IAC Santa Elisa		9,82 b	20,75 a	29,79 c	15,31 b

Volumax	18,71 a	20,63 a	44,20 a	14,31 b
<hr/>				
Regime hídrico				
Irrigado	12,47 a	16,32 a	36,63 b	15,96 a
Seco	13,52 a	16,55 a	39,81 a	15,78 a
<hr/>				

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; MSPA: Massa seca da parte aérea; MSR: Massa seca da raiz; Altura e N: Nitrogênio.

ns – não significativo, *, ** e *** representam, respectivamente, p-valores significativos a 5%, 1% e 0,1%.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A altura das plantas de sorgo é uma característica altamente influenciada pela constituição genética dos materiais e pelas condições ambientais, assim grandes variações podem ser observadas (Von Pinho et al., 2006). É considerada uma característica de grande importância na escolha do cultivar, pois materiais de porte elevado tendem a produzir maiores quantidades de matéria seca (Resende et al., 2014). E uma vez que, ao florescerem, as plantas de sorgo cessam seu crescimento, uma antecipação nesse processo pode resultar em plantas de menor altura (Silva et al., 2005).

Segundo Ferreira et al. (2011), os resultados da literatura também mostram muitas diferenças na produção de matéria seca de sorgo devido à influência de inúmeros fatores, como fertilidade do solo, condições climáticas, época de plantio, variabilidade genética, idade de corte, práticas de manejo, entre outros. A altura ou porte da planta é determinante no comportamento do sorgo, podendo prever características agrônômicas (Perazzo et al., 2013), quando de porte alto, geralmente apresenta maior produção de biomassa, devido ao maior percentual colmo e lâmina foliar, caracterizando um comportamento forrageiro. Silva et al. (2014) afirma que há uma relação entre altura de plantas e produtividade. Sendo assim, genótipos de sorgo com maior porte tendem a apresentar maiores produtividades.

Avelino (2008), mensurando as características produtivas de genótipos de sorgo para produção de silagem, determinou para o Volumax valores de massa seca médias superiores comparando aos demais híbridos avaliados, tais resultados corroboram com os valores de massa seca observados neste experimento. Segundo Machado (2010) o genótipo IAC Santa Elisa, apresenta características favoráveis à produção de forragem, palha e matéria seca de raiz, na entre safra das culturas de verão, em razão do elevado rendimento de massa de matéria seca, qualidade bromatológica e facilidade de controle.

Segundo Avelino (2011) o genótipo Volumax apresentou altura média superior aos dos híbridos avaliados, resultado esperado já que tais híbridos têm portes diferentes, sendo o Volumax de maior porte. Resultados semelhantes foram obtidos por Giroto (2021) na qual o híbrido de sorgo Agri 002E, independente da ausência de panícula, mostrou tendência produtiva superior a das outras variedades, para a massa seca dentro do colmo no fator densidade de plantas, observa-se uma competição, já para a massa seca total, quanto mais plantas, maior a produtividade, houve desdobramento das interações forrageiras x densidade para massa seca total, verificando-se diferenças significativas na variedade Agri 002E, obtendo-se melhor resultado quando submetidos a densidades maiores.

Segundo Theodoro et al. (2021) o sorgo forrageiro Agri 002E apresentou maior produtividade de massa seca e valores de nitrogênio, somente quando foi cultivado por 97 dias após o primeiro corte. Independentemente do período de permanência das plantas no campo, o sorgo forrageiro produziu mais no primeiro corte.

5.1.1. Análises de crescimento vegetativo em função do regime hídrico primeira coleta

De acordo com a Tabela 4, na variável massa seca da raiz (MSR) os genótipos que apresentaram diferença estatística significativa foram: o genótipo Volumax com 24,99g no regime hídrico seco e o IAC Santa Elisa com 24,75g no regime hídrico irrigado.

Tabela 4. Massa seca da raiz em sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na primeira coleta.

Variedade	Regime hídrico	
	Irigado	Seco
	Massa seca da raiz (g)	
Agri 002E	17,01 Ab	15,72 Ab
CMSXS 5017	9,29 Ac	10,41 Ac
CMSXS 5027	17,57 Ab	17,22 Ab
IPA SF15	16,36 Ab	15,46 Ab
BRS Ponta Negra	12,97 Ac	15,28 Ab
IAC Santa Elisa	24,75 Aa	16,75 Bb
Volumax	16,28 Bb	24,99 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Esses dados corroboram com o estudo de Machado (2012), avaliando o sorgo forrageiro IAC Santa Elisa foi observado alguma participação na produção de forragem e massa seca da raiz até a terceira avaliação, quando o milho e o capim-pé-de-galinha já haviam encerrado seu ciclo de crescimento. Este comportamento da cultivar IAC Santa Elisa, se destacou em relação a híbridos de sorgo e ao milho sendo utilizado em grande escala.

Botelho et al. (2010) compararam as proporções de folhas, panículas e colmos na planta, em duas épocas de colheita do genótipo Volumax no corte, em condições de estresse hídrico. De acordo com os autores, as porcentagens de valores para folhas e panículas foram maiores para todos entre os genótipos avaliados no sorgo do ano. Já para o componente colmo, houve redução em sua porcentagem na rebrota.

As plantas podem permanecer por um longo período no campo em estágio vegetativo, com a possibilidade de ser realizado mais de um corte em função da elevada capacidade de rebrote (Botelho et al., 2010). Entretanto, o manejo de cortes precisa ser mais bem compreendido em diferentes regiões produtoras, uma vez que aspectos edafoclimáticos interferem na morfofisiologia e no desempenho das plantas originadas do rebrote para uso na alimentação animal (Neumann et al., 2010; Schneider et al., 2019; Silva et al., 2020).

5.1.2. Análise química em função do regime hídrico

Na tabela 5 as variedades de genótipos que apresentaram diferença estatística significativa no teor de nitrogênio foram: o Agri 002E com 23,26 g kg⁻¹, no regime hídrico seco, o IPA SF15 com 22,99 g kg⁻¹ e o Volumax com 16,93 g kg⁻¹ no regime irrigado.

Tabela 5. Nitrogênio em sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na primeira coleta.

Variedade	Regime hídrico	
	Irigado	Seco
	Nitrogênio (g kg ⁻¹)	
Agri 002E	11,85 Bb	23,26 Aa
CMSXS 5017	13,66 Ab	13,07 Ac

CMSXS 5027	13,82 Ab	18,18 Ab
IPA SF15	22,99 Aa	15,58 Bc
BRS Ponta Negra	15,65 Ab	14,85 Ac
IAC Santa Elisa	16,82 Ab	13,80 Ac
Volumax	16,93 Ab	11,69 Bc

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

O sorgo é considerado uma espécie rústica e capaz de se adaptar a condições de baixa disponibilidade de nitrogênio (N) (Gardner et al., 1994). Entretanto, plantas nestas condições apresentam relevantes alterações estruturais, fisiológicas, morfológicas e na absorção de outros nutrientes que comprometem a produtividade caso não haja a oferta de N por meio da adubação (Zhao et al., 2005; Silva et al., 2012; Santos et al., 2015). Os relatos aparentemente discordantes em relação aos efeitos da adubação nitrogenada na produtividade da cultura do sorgo provavelmente estão relacionados à reação dos diferentes híbridos disponíveis (Silva et al., 2012).

Pereira et al. (2014) obtiveram resultados semelhante desta pesquisa, trabalhando com sorgo granífero sob estresse hídrico com aplicação de nitrogênio no município de Baraúna - Rio Grande do Norte, observaram que o teor de nitrogênio foliar apresentou efeito significativo. Viégas et al. (2002) verificaram que a omissão de Nitrogênio ocasionou a redução no teor desse nutriente em todas as partes da planta, quando não é feita a adubação com esse nutriente. Fonseca et al. (2008) cultivando sorgo granífero em solução nutritiva, obtiveram valores de teor de N foliar de $30,95 \text{ g kg}^{-1}$, ou seja, maiores aos da presente pesquisa. Para Fancelli & Dourado Neto (2008) reportam que o nível adequado do teor de nitrogênio na folha de milho para o desenvolvimento adequado, está situado na faixa de $27,5$ a $32,5 \text{ g kg}^{-1}$.

Em um estudo realizado por Barros et al., (2020) na cidade de Caruaru, a proporção de Nitrogênio proveniente da fixação biológica foi elevada para a maioria dos genótipos avaliados, com limitação de água. Devido a esta limitação, que resultou em baixa massa seca, as quantidades de Nitrogênio fixo na biomassa acima do solo foram de apenas 11 a 48 kg ha^{-1} . Estes resultados confirmam que o sorgo não inoculado pode derivar altas proporções de nitrogênio da associação com bactérias fixadoras (Ferreira Neto et al. 2017) e que sem limitação de água, o sorgo pode incorporar grandes quantidades do nutriente. Essas quantidades podem representar uma importante contribuição econômica e viabilizar a

produção sob o sistema de insumos mínimos que prevalece na Região Nordeste do Brasil (Tiessen et al. 2001). Grandes variações nas proporções de fixação biológica de nitrogênio de plantas C4 da família *Poaceae* são comuns (Biggs et al. 2002; Baptista et al. 2014; Carvalho et al. 2017). A simbiose eficaz depende da presença de bactérias diazotróficas e das condições ambientais apropriadas para o funcionamento integrado. Bactérias endófitas, como as que formam relações simbióticas com o sorgo, geralmente pertencentes a vários gêneros, como *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Gluconacetobacter*, *Enterobacter*, *Bacillus* e *Paraburkholderia* (Roncato-Maccari et al. 2003; Coelho et al. 2009; Yoon et al. 2016; Silva et al. 2018; Antunes et al. 2019), podem ocorrer dentro das sementes ou podem migrar do solo, em ambos os casos, invadem raízes e caules (Luna et al. 2010).

5.2. Valores médios das análises da segunda coleta

As variedades de genótipos que apresentaram diferença estatística significativa (Tabela 6) com significância de p-valores a 5%, 1% e 0,1% para valores médios da análise de variância são: Volumax para massa seca parte aérea (MSPA), IAC Santa Elisa e Volumax para massa seca da raiz (MSR), Volumax e CMSXS 5027 para altura e Agri 002E para determinação do teor de nitrogênio. Os genótipos não mencionados e discutidos não obtiveram diferença estatística significativa.

Tabela 6. Resumo da análise de variância e valores médios para amostras de sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na segunda coleta.

FV	GL	Valor de F			
		MSPA	MSR	Altura	N
Bloco	3	0,44 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Variedade (V)	6	7,77***	16,97***	7,20***	4,75*
Regime hídrico (RH)	1	3,12 ^{ns}	2,26 ^{ns}	3,21 ^{ns}	1,28 ^{ns}
V × RH	6	2,45*	4,77***	1,39 ^{ns}	6,14***
CV (%)		27,5	15,7	13,4	22,5
Variedades					
Agri 002E		13,89 b	17,01 b	39,91 b	19,63 a
CMSXS 5017		12,08 c	10,60 c	37,34 b	12,76 b
CMSXS 5027		14,27 b	18,31 b	44,99 a	14,76 b
IPA SF15		9,42 c	16,62 b	36,40 b	17,57 b
BRS Ponta Negra		15,90 b	15,57 b	38,96 b	12,48 b
IAC Santa Elisa		8,87 c	22,78 a	31,06 c	15,57 b
Volumax		19,21 a	21,35 a	45,23 a	13,52 b
Regime hídrico					

Irrigado	12,51 a	18,01 a	37,88 a	14,67 a
Seco	14,25 a	16,91 a	40,38 a	15,70 a

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; MSPA: Massa seca da parte aérea; MSR: Massa seca da raiz. ns – não significativo, *, ** e *** representam, respectivamente, p-valores significativos a 5%, 1% e 0,1%. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Neumann et al. (2004) afirmam que as diferenças de massa seca entre híbridos de sorgo são justificadas pela idade de florescimento e composição física da planta e pela suculência do colmo. A importância da suculência do colmo para massa seca é evidenciada no trabalho de Restle et al. (2002), quando a manipulação da altura de corte do sorgo para ensilagem é feita, uma vez quando se elevou a altura de corte das planta de 14 cm para 45 cm, a participação do colmo reduziu de 43,4 para 30,8%, com redução de massa seca da silagem de 38,47 para 34,38%. Avaliando a participação dos três componentes das plantas (lâmina foliar, caule e panícula) dos dois híbridos, AG-2005 e Volumax, Avelino (2008) constatou que a panícula foi o componente com maior participação no peso seco da planta, apresentando 43,75% no Volumax e 57,88% no AG2005.

Cunha e Lima (2010), avaliando genótipos de sorgo, encontraram variações na produção de altura de planta de 1,3 a 3,83 m dentre os materiais testados, ficando a cultivar IPA 1011 com 1,33 m. Silva et al. (2010), avaliando cultivares de sorgo granífero, observaram que a cultivar CMSXS 5027 com 1,03m apresentou maior altura de planta dentre os materiais testados. É importante salientar que a altura das plantas está correlacionada diretamente com a quantidade de massa verde total obtida pela pesagem das plantas da área útil da parcela.

No trabalho de Souza et al. (2012) quanto à produção de massa seca por hectare, a cultivar IAC Santa Elisa obteve 19,9 t ha⁻¹ foi superior a IPA 1011 com 14,81 t ha⁻¹, onde houve um incremento de 25,58%, não havendo efeito para o biofertilizante e interação. A cultivar mais alta foi a BR 503 (212.5 cm) enquanto a mais baixa foi a cultivar CMSXS 629 com 130.9 cm de altura. A variação da altura de planta do sorgo ocorrida entre os dois materiais estudados mostra a diversidade genética dos mesmos, em que a cultivar IAC Santa Elisa tem aptidão para produção de forragem e a IPA 1011 aptidão para grãos. Quanto ao diâmetro, a cultivar IAC Santa Elisa com média de 1,04 m foi superior a IPA 1011 com 1,03 m. Fernandes et al. (2007), avaliando cultivares de sorgo e de milho para silagem, constataram variações na produção de matéria seca de 10,2 a 19,5 t/ha, com uma produção média de 11,6 t/ha para o BR 601. Gomes et al. (2006), avaliando cultivares de sorgo,

obtiveram variações na produção de matéria seca de 6,88 a 4,83 t/ha, com uma produção média de 10,86 t/ha para o BR 601.

5.2.1 Análises de crescimento vegetativo em função do regime hídrico segunda coleta

Os resultados que apresentaram diferença estatística significativa para massa seca da parte aérea foram os seguintes genótipos: Volumax com 22,87g e BRS Ponta Negra com 19,10g no regime hídrico seco.

Tabela 7. Massa seca da parte aérea, em sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na segunda coleta.

Variedade	Regime hídrico	
	Irigado	Seco
Massa seca da parte aérea (g)		
Agri 002E	15,70 Aa	12,08 Ab
CMSXS 5017	12,08 Aa	12,07 Ab
CMSXS 5027	15,33 Aa	13,21 Ab
IPA SF15	8,48 Ab	10,36 Ab
BRS Ponta Negra	12,71 Ba	19,10 Aa
IAC Santa Elisa	7,71 Ab	10,03 Ab
Volumax	15,54 Ba	22,87 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A diminuição do alongamento das raízes e da parte aérea, sob estresse hídrico, é o reflexo da redução da capacidade da planta de absorção de água, reduzindo assim a turgidez celular, e conseqüentemente a expansão celular (OLIVEIRA; ALENCAR; GOMESFILHO, 2013). Portanto, a capacidade dos genótipos de crescerem, em ambientes com baixa disponibilidade hídrica, está bastante relacionado ao potencial da cultura em captar água, seja por alterações fisiológica, bioquímica ou morfológica, como modulação do crescimento radicular e da parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2013). Como verificado para os genótipos de sorgo granífero com o aumento dos níveis de estresses, as plântulas investiram mais no crescimento do sistema radicular, aumentando assim a relação raiz/parte aérea. Nos

tratamentos de maiores estresses, os genótipos apresentaram raízes maiores, enquanto, a razão crescimento de raiz e crescimento da parte área na condição de regime hídrico irrigado não tem significância. Corroborando assim com os resultados obtidos por Coelho et al. (2014), para as variedades de sorgo forrageiro, e de híbridos de milho submetidos a níveis crescente de estresse hídrico.

A tolerância as condições de estresse podem apresentar variações em função das variedades, cultivares ou híbridos produzido, sendo que a seleção de genótipos mais tolerantes contribui para expansão da cultura (SILVA et al., 2013). A seleção pode ser realizada em estágios como na germinação por ser um estágio sensível da planta, no qual os danos afetam o crescimento e o desenvolvimento subsequente (LARCHER, 2006).

Em relação a massa seca da raiz os resultados que apresentaram diferença estatística significativa foram as seguintes variedades: IAC Santa Elisa no regime hídrico irrigado com 26,91g e Volumax com 24,15g no regime hídrico seco (Tabela 8).

Tabela 8. Massa seca da raiz, em sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na segunda coleta.

Variedade	Regime hídrico	
	Irigado	Seco
	Massa seca da raiz (g)	
Agri 002E	18,78 Ab	15,25 Ab
CMSXS 5017	11,55 Ac	9,65 Ac
CMSXS 5027	18,47 Ab	18,14 Ab
IPA SF15	16,47 Ab	16,77 Ab
BRS Ponta Negra	15,38 Ab	15,77 Ab
IAC Santa Elisa	26,91 Aa	18,66 Bb
Volumax	18,54 Bb	24,15 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

No estudo de Machado (2004), foram avaliados sete híbridos de sorgo forrageiro (não comerciais), juntamente com a cultivar IAC Santa Elisa, em São Gabriel do Oeste, MS. Observou-se que, submetidos a três cortes sucessivos, os sorgos IAC Santa Elisa e o Híbrido 5 destacaram-se pela produção de matéria seca total, sendo significativamente superiores ao Híbrido 2. O primeiro, por ter ciclo de crescimento mais longo que os híbridos, foi o que apresentou maior produção. Esta característica é muito importante para uma planta forrageira

cultivada na região, pois produz forragem na época mais crítica do ano, que é o final da estação seca. A cultivar IAC Santa Elisa apresentou a maior produção de folhas, sendo significativamente superior aos híbridos, com exceção do AG 2501. A cultivar IAC Santa Elisa teve, ainda, a vantagem de apresentar maior crescimento no final do período seco, nos últimos cortes. Nesta época, as pastagens perenes apresentam a menor disponibilidade de forragem do ano, em função das baixas precipitações. Um genótipo com capacidade de produzir forragem neste período, é de grande importância para os pecuaristas.

A cultivar IAC Santa Elisa obteve vantagem em relação aos demais genótipos ao apresentar melhor distribuição da produção de forragem ao longo do período. Isto facilita o manejo do pasto, tendo em vista que a demanda de alimento por parte dos animais é relativamente constante. Oliveira et al. (2002) testando estabilidade e produção de diversos cultivares destinados à produção de silagem, encontraram valores de produção de matéria seca para AG-2002 de até 22,76 t/ha, com maior estabilidade em diferentes condições de plantio e para o Volumax com 20,83 t/ha, que obteve melhor desempenho em locais mais favoráveis. Magalhães et al. (2006) encontraram, através da avaliação dos parâmetros obtidos *in vitro* que, dentre os genótipos ATF 53, ATF 54, CMSXS 217 e Volumax, o último possui maior potencial para produção de silagem, por apresentar menor fase de colonização e maior taxa de fermentação.

5.2.2 Análise química em função do regime hídrico na segunda coleta

De acordo com a tabela 9 os resultados que apresentaram diferença significativa estatística no teor de nitrogênio foram os genótipos: Agri 002E com 26,31 g kg⁻¹ no regime hídrico seco e Volumax com 16,18 g kg⁻¹ no regime hídrico irrigado.

Tabela 9. Determinação do teor de nitrogênio, em sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na segunda coleta.

Variedade	Regime hídrico	
	Irigado	Seco
	Nitrogênio (g kg ⁻¹)	
Agri 002E	12,96 Ba	26,31 Aa
CMSXS 5017	12,49 Aa	13,04 Ab

CMSXS 5027	13,64 Aa	15,89 Ab
IPA SF15	19,26 Aa	15,89 Ab
BRS Ponta Negra	12,56 Aa	12,41 Ab
IAC Santa Elisa	15,61 Aa	15,53 Ab
Volumax	16,18 Aa	10,86 Bb

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Os resultados de acúmulo de N, observados no trabalho, de Perin et al. (2004), verificaram que o mono cultivo de milho acumulou 97 kg ha⁻¹ de Nitrogênio na massa seca da parte aérea aos 68 dias, enquanto seu consórcio com crotalária acumulou 218 kg ha⁻¹ de Nitrogênio. No trabalho de Giacomini et al. (2003), a aveia-preta cultivada isoladamente não conseguiu acumular mais que 60 kg ha⁻¹ de Nitrogênio, em três anos consecutivos de estudo, ao passo que as quantidades de Nitrogênio obtidas nos consórcios de aveia com ervilhaca e aveia com nabo forrageiro foram significativamente superiores às dos mono cultivo da gramínea, em todos os anos avaliados.

O nitrogênio é um dos principais nutrientes exigidos em quantidade pela planta, sendo essencial e participando da constituição do vegetal, formando os aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, clorofila e hormônios (TAIZ; ZEIGER, 2013). O nitrogênio é um dos mais importantes nutrientes, com cerca de 22 kg necessários por tonelada de grão de milho produzido, sendo que por volta de 2/3 deste total de nitrogênio é exportado aos grãos (GARCIA, 2005; CIAMPITTI et al., 2010). O N pode ser disponibilizado pela planta por mineralização dos nutrientes na natureza ou aplicação de fertilizantes, sendo que 50% deste aplicado por fertilizantes, podem ser perdidos para o ambiente (DUETE et al., 2008). A absorção do N no sogro ocorre nas primeiras semanas após a germinação, logo depois este é translocado dos órgãos de reserva até os grãos (FALLAS et al., 2011).

O momento da aplicação do N é apontado como de extrema importância para o aumento do rendimento dos grãos, tanto em peso quanto em quantidade. O período de 40 a 60 dias após a germinação da semente é o melhor momento para a assimilação do nutriente, sendo que, logo após o começo do florescimento, a absorção é baixa, assim como depois da germinação (FRANÇA et al., 1994; VASCONCELLOS et al., 1998). Por isso o N é mais exigido nas fases em que a planta está em aumento gradual até o florescimento e chegando em seu potencial máximo entre o florescimento e o começo da formação de grãos (ARNON; STOUT, 1975).

Em contrapartida, Cazetta et al. (2005) verificaram que o milho em mono cultivo acumulou 265 kg ha⁻¹ de Nitrogênio, e superou o consórcio de milho com crotalária, que acumulou 204 kg ha⁻¹ de Nitrogênio na massa seca da parte aérea. No experimento de Torres et al. (2008), foram observadas fortes variações de um ano para o outro no acúmulo de Nitrogênio de culturas de cobertura avaliadas no pleno florescimento, com os seguintes resultados: no primeiro ano, foram obtidos 165, 84, 118, 29 e 51 kg ha⁻¹ de Nitrogênio do milho, sorgo, crotalária, aveia-preta e guandu respectivamente; e no segundo ano foram observadas quantidades bastante inferiores de 56, 45, 76, 46 e 62 kg ha⁻¹ de Nitrogênio no milho, sorgo, crotalária, aveia-preta e guandu, respectivamente. Portanto, argumenta-se que a capacidade das espécies de cobertura de incorporar Nitrogênio na fitomassa está fortemente relacionada ao ambiente de produção e manejo (Menezes & Leandro, 2004; Cazetta et al., 2005; Suzuki & Alves, 2006; Torres et al., 2008).

5.3 Valores médios das análises de fluorescência da primeira e segunda coleta

De acordo com a tabela 10 os genótipos que apresentaram diferença estatística significativa na primeira coleta foram: CMSXS 5027, CMSXS 5017 para Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema (Fv'/Fm'); CMSXS 5017, CMSXS 5027 e IPA SF15 para Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema II (PhiPS2) e ETR (Taxa de Transporte de Elétrons). Quando comparados os regimes hídricos, o regime irrigado obteve diferença estatística significativa em todos os componentes analisados Fv'/Fm' (Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema), PhiPS2 (Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema II), qP (Quenching de Extinção Fotoquímica) e ETR (Taxa de Transporte de Elétrons). Na segunda coleta os genótipos que obtiveram a diferença estatística significativa foram apenas: CMSXS 5017 e CMSXS 5027 para Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema (Fv'/Fm'). Na comparação dos regimes hídricos, o regime irrigado obteve a diferença estatística significativa em todos os componentes analisados Fv'/Fm' (Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema), PhiPS2 (Rendimento Quântico Efetivo do Fotossistema II), qP (Quenching de Extinção Fotoquímica) e ETR (Taxa de Transporte de Elétrons).

Tabela 10. Resumo da análise de variância e valores médios para atributos de fluorescência de sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na primeira e segunda coleta.

Primeira Coleta

FV	GL	Fv'/Fm'	PhiPS2	qP	ETR
Bloco	3	0,78 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Variedade (V)	6	6,02***	3,06*	1,56 ^{ns}	3,04*
Regime hídrico (RH)	1	16,57***	21,79***	24,30***	21,62***
V × RH	6	0,84 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,56 ^{ns}
CV (%)		13,47	23,19	17,40	23,23
Variedades					
Agri 002E		0,32 b	0,11 b	0,33 a	99,11 b
CMSXS 5017		0,39 a	0,14 a	0,35 a	123,57 a
CMSXS 5027		0,39 a	0,14 a	0,35 a	126,00 a
IPA SF15		0,35 b	0,14 a	0,38 a	119,52 a
BRS Ponta Negra		0,29 b	0,10 b	0,30 a	85,45 b
IAC Santa Elisa		0,34 b	0,11 b	0,33 a	99,69 b
Volumax		0,31 b	0,11 b	0,33 a	99,76 b
Regime hídrico					
Irrigado		0,37 a	0,14 a	0,38 a	123,12 a
Seco		0,32 b	0,11 b	0,30 b	92,06 b

Segunda Coleta

FV	GL	Fv'/Fm'	PhiPS2	qP	ETR
Bloco	3	2,45 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,79 ^{ns}
Variedade (V)	6	6,77***	1,86 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,87 ^{ns}
Regime hídrico (RH)	1	31,47***	15,35**	9,72**	15,46***
V × RH	6	1,34 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,54 ^{ns}	1,24 ^{ns}
CV (%)		9,70	18,16	16,39	18,12
Variedades					
Agri 002E		0,34 b	0,11 a	0,31 a	94,78 a
CMSXS 5017		0,42 a	0,13 a	0,31 a	111,87 a
CMSXS 5027		0,41 a	0,12 a	0,29 a	106,91 a
IPA SF15		0,35 b	0,11 a	0,30 a	97,63 a
BRS Ponta Negra		0,35 b	0,10 a	0,29 a	89,92 a

IAC Santa Elisa	0,34 b	0,11 a	0,31 a	95,21 a
Volumax	0,35 b	0,13 a	0,35 a	111,56 a
<hr/>				
Regime hídrico				
Irrigado	0,39 a	0,13 a	0,33 a	110,76 a
Seco	0,34 b	0,10 b	0,29 b	91,50 b

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade.

ns – não significativo, *, ** e *** representam, respectivamente, p-valores significativos a 5%, 1% e 0,1%.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

O quenching fotoquímico (qP) é a dissipação da fluorescência da clorofila associada às reações fotoquímicas, relacionado com a quantificação da energia de excitação capturada pelos centros de reação abertos (Quinona a oxidada), representando a fração “aberta” do PSII em relação à fração total desse fotossistema (Hall, 1993; Krause and Weis, 1991). O transporte linear de elétrons da água ao NADP⁺ ocorre através do PSII e PSI. Devido ao transporte de elétrons linear, H⁺ é acumulado no lúmen resultante da oxidação da água e da translocação de prótons pela membrana através do complexo Cytb₆f (Citocromo b₆f), resultando na geração de uma força próton-motriz que direciona a produção de ATP. Em contrapartida, o transporte cíclico de elétrons em torno do PSI recicla os elétrons da Ferredoxina reduzida e transporta para a plastoquinona, contribuindo para a geração da força próton-motriz sem produção de NADPH (Nakamura et al., 2013). O decaimento da taxa de transporte de elétrons e o decaimento da F_v'/F_m' , sugerem processos de fotoinibição resultantes de estresse ambientais (Ogren and Sjöstrom, 1990), ou seja, mudanças na eficiência de processos não-fotoquímicos. Ambos os fatores podem explicar a baixa eficiência do PSII (Maxwell and Johnson, 2000).

Dados de fluorescência obtida pela metodologia LIFT encontrada nos trabalhos de Kolber et al. (2005), Pieruschka et al. (2010) e Osmond et al. (2017), em experimentos de campo com soja, uma cultura largamente utilizada no Brasil e em regiões que ocorrem déficit hídrico, permitem obter resultados semelhantes obtidos neste trabalho. O aumento do tempo de exposição à seca, causou danos severos as plantas, conforme demonstrado pelas reduções em F_v'/F_m' , FSII e ETR, limitando o potencial fotossintético da soja.

Em um outro estudo com soja sob déficit hídrico severo, com três tipos de irrigação houve sérias reduções da alocação de fotoassimilados de caules e folhas, direcionando-os para as estruturas reprodutivas. Desta forma, as causas das reduções podem ser justificadas pelos

danos ao metabolismo fotossintético (JAYME-OLIVEIRA et al., 2017), que altera negativamente a produtividade.

5.4 Valores médios das análises de trocas gasosas na primeira e segunda coleta

Na tabela 11 os genótipos não tiveram diferença estatística significativa. Houve apenas diferença entre os regimes hídricos. Na primeira e segunda coleta o regime hídrico irrigado apresentou diferença estatística significativa para Photo (Fotossíntese), Cond (Condutância Estomática) e Trmmol (Transpiração). E no regime hídrico seco a diferença estatística significativa foi o Vpdl (déficit de pressão de vapor de água entre a folha e a atmosfera) nos dois regimes hídricos.

Tabela 11. Resumo da análise de variância e valores médios para atributos de Trocas Gasosas de sorgo em função de diferentes variedades e regimes hídricos, na primeira e segunda coleta.

FV	GL	Primeira Coleta			
		Photo	Cond	Trmmol	VpdL
Bloco	3	0,57 ^{ns}	1,08 ^{ns}	4,11*	9,25***
Variedade (V)	6	2,33 ^{ns}	2,01 ^{ns}	2,02 ^{ns}	2,33 ^{ns}
Regime hídrico (RH)	1	20,64***	18,99***	20,28***	23,27***
V × RH	6	0,49 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,58 ^{ns}
CV (%)		27,79	31,50	27,12	9,75
Variedades					
Agri 002E		14,58 a	0,07 a	3,02 a	4,42 a
CMSXS5017		17,94 a	0,09 a	3,79 a	4,20 a
CMSXS5027		18,72 a	0,09 a	3,68 a	4,15 a
IPASF15		17,89 a	0,08 a	3,50 a	4,09 a
BRS Ponta Negra		12,31 a	0,06 a	2,53 a	4,73 a
IAC Santa Elisa		14,81 a	0,08 a	3,39 a	4,24 a
Volumax		14,49 a	0,07 a	2,99 a	4,50 a
Regime hídrico					
Irrigado		18,49 a	0,09 a	3,80 a	4,06 b
Seco		13,15 b	0,06 b	2,74 b	4,60 a

Segunda Coleta

FV	GL	Photo	Cond	Trmmol	VpdL
Bloco	3	0,33 ^{ns}	0,44 ^{ns}	2,79 ^{ns}	12,92 ^{***}
Variedade (V)	6	1,55 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Regime hídrico (RH)	1	13,65 ^{***}	18,14 ^{***}	20,36 ^{***}	20,37 ^{***}
V × RH	6	1,21 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,99 ^{ns}
CV (%)		19,46	21,35	20,07	6,90
Variedades					
Agri 002E		13,78 a	0,06 a	2,45 a	3,84 a
CMSXS 5017		16,21 a	0,08 a	2,94 a	3,71 a
CMSXS 5027		15,46 a	0,07 a	2,77 a	3,86 a
IPA SF15		13,95 a	0,07 a	2,68 a	3,86 a
BRS Ponta Negra		13,73 a	0,07 a	2,62 a	3,80 a
IAC Santa Elisa		14,02 a	0,07 a	2,71 a	3,75 a
Volumax		16,74 a	0,08 a	2,99 a	3,75 a
Regime hídrico					
Irrigado		16,27 a	0,08 a	3,07 a	3,64 b
Seco		13,41 b	0,06 b	2,41 b	3,95 a

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade.

ns – não significativo, *, ** e *** representam, respectivamente, p-valores significativos a 5%, 1% e 0,1%.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

As trocas gasosas foram significativamente afetadas pelo estresse hídrico, tais reduções acontecem devido a assimilação do CO₂ (REICHGELT; ANDREA, 2019), em que a necessidade de regulação das perdas de água resulta em reduções na fotossíntese líquida (LIU et al., 2005). Normalmente, essa situação ocorre nos regimes hídricos mais estressados, em que há diminuição do metabolismo fotossintético, afetando, inclusive a manutenção do seu funcionamento (GUO et al., 2018). Como resultado, há o fechamento estomático, pois o CO₂ intrafoliar não é consumido e a respiração celular é mantida (TAUB, 2010). O aumento do tempo de exposição ao déficit hídrico, causa danos celulares em importantes complexos proteicos responsáveis pelos eventos fotossintéticos, dentre eles, a proteína D1 do FSII (KEREN et al., 1997). Esta proteína está relacionada aos processos de fotólise da água e desta forma, o fechamento estomático, ao limitar a entrada de CO₂ ambiente para dentro dos sítios

de carboxilação da Rubisco, induz um estado de superexcitação nas membranas dos tilacóides, pois o excedente de poder redutor produzido passa a ser danoso a estas membranas (PARRY et al., 2002). Com isso, a planta poderá sofrer com sintomas de fotoinibição dinâmica, caso a proteína D1 seja reparada, é necessário a síntese “de novo” dessa proteína (GENTY et al., 1989; MAXWELL; JOHNSON, 2000; ROHÁČEK et al., 2008; PIERUSCHKA et al., 2014).

O resultado do estresse hídrico sobre a transpiração produz significativas diferenças entre plantas sob deficiência hídrica e irrigadas. Com a queda da disponibilidade de água no solo a transpiração diminui, devido à perda de água enquanto os estômatos estão abertos. A vegetação e o estágio de crescimento também são fatores que modificam a taxa de transpiração. Quando o solo está sob condição adequadas de umidade, a transpiração se mantém numa taxa potencial, determinada pelas condições meteorológicas. Outros fatores tais como temperatura, umidade relativa, correntes de vento também podem influenciar as taxas de transpiração (COELHO et al., 2014).

Sob estresse, o sorgo apresenta características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as suas atividades metabólicas e, após o término deste período, as plantas podem até se recuperar mais rapidamente do que as que não passaram por tal limitação (TINGTING et al., 2010). Com isso, o monitoramento das trocas gasosas auxilia no entendimento de estratégias utilizadas pelas plantas sob manejos de água e nutrientes, uma vez que os processos fisiológicos são diretamente influenciados por esses fatores (LIMA, 2018).

O fechamento estomático, é um dos primeiros mecanismos acionados pela planta sob estresse hídrico, para impedir a desidratação da planta, devido a interrupção do transporte de água para planta, que nestas condições apresentam o potencial hídrico da folha, da raiz e do solo aproximadamente igual (BENEŠOVÁ et al., 2012). Este mecanismo protege a planta, porém, quando persiste por maior tempo causa redução do crescimento, consequência da redução da pressão de turgescência, devido à pressão de turgescência ser menor do que a resistência da parede celular (SHAO et al., 2008), acarretando a redução da área foliar (ANJUM et al., 2011), do porte da planta e do sistema radicular (SHAO et al., 2008). Além disso, o fechamento estomático reduz à assimilação de CO₂, e conseqüentemente a produção de fotoassimilados (BENEŠOVÁ et al., 2012), que reflete no acúmulo de biomassa fresca e seca (SHAO et al., 2008).

As plantas tolerantes podem apresentar mecanismos para realizar o ajuste osmótico,

com acúmulo de diferentes solutos orgânicos e inorgânicos no citosol para o ajuste osmótico e manutenção do turgor celular, que melhora a captação da água (ANJUM et al., 2011). O estresse também pode induzir a síntese proteica de baixo peso molecular, que protege a planta dos danos causados pela deficiência de água (BACELAR et al., 2012).

Moreira et al. (2013), estudando a resposta do sorgo sacarino a diferentes intensidades de irrigação relata que, a imposição de déficit hídrico afeta diretamente as taxas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática, com respostas positivas da cultura com o incremento da irrigação na primeira fase de crescimento.

Aranda et al. (2008) relataram que as taxas fotossintéticas de arbustos em situações de seca são grandemente reduzidas, como resultado do fechamento estomático e limitações bioquímicas, demonstra também o efeito da luz em plantas submetidas a seca, em que plantas adaptadas a elevadas intensidades de luz possuem alta plasticidade fenotípica e assim, maior adaptabilidade a seca. Grassi & Magnani (2005) estudando a resposta de árvores de carvalho observaram que a condutância estomática e mesofílica são responsáveis por até 75% das limitações impostas à fotossíntese em condições de seca. Em *Citrus*, a difusão do CO₂ até o sítio de carboxilação da Rubisco é regulada pela resistência estomática, respostas estas obtidas em quaisquer culturas (ERISMANN et al., 2007). Tais resultados em plantas arbóreas demonstram que o comportamento estomático em relação à fotossíntese é universal não diferindo para aqueles encontrados em soja, como encontrado por Aliyev (2012) e Zheng et al. (2020). Ainda, a seca pode limitar em até 70% as trocas gasosas na cultura da soja, o que influencia em última instância, sua produtividade (RIBAS-CARBO et al., 2005).

6 CONCLUSÕES

- Considerando uma análise geral o melhor genótipo aclimatado ao estresse hídrico é o Volumax;
- Em relação ao crescimento vegetativo os genótipos que tiveram os melhores desempenhos em condições de estresse hídrico foram: Volumax e IPA SF15;
- Na determinação do teor de Nitrogênio os genótipos que tiveram os melhores desempenhos em condições de estresse hídrico foram: Agri 002E e IPA SF15.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, S. G.; BANDEIRA, G. R. L. Effect of thinning and slashing on forage phytomass from a caatinga of Petrolina, Pernambuco, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, p. 885-891, 1995.
- ALIYEV, J.A. Photosynthesis, Photorespiration and Productivity of Wheat and Soybean Genotypes. **Physiologia Plantarum**, v.145, p.369-83, 2012.
- ALLEN JR., L.H., ZHANG, L.; BOOTE, K.J.; HAUSER, B.A. Elevated temperature intensity, timing, and duration of exposure affect soybean internode elongation, mainstem node number, and pod number per plant. **The Crop Journal**, v.6, p.148-161, 2018.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO**, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- 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, p.711–728, 2013.
- ANTUNES GR, SANTANA SRA, ESCOBAR IEC, BRASIL MS, ARAUJO GGL, VOLTOLINI TV, FERNANDES-JUNIOR PI (2019) Associative diazotrophic bacteria from forage grasses in the Brazilian semiarid region are effective plant growth promoters. **Crop Pasture Sci** **70:899–907**. <https://doi.org/10.1071/CP19076>.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro: **IBGE**, v. 56, 2010. p. 2-13.
- ARNON, D.I. STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiol**, pg.371-375. California, 1975.
- AVELINO, P. M. Características produtivas e qualitativas de híbridos de sorgo (sorghum bicolor, l. moench) para produção de silagem, cultivados sob diferentes densidades de plantio. 2008. 56 f. **Dissertação (Mestrado em Ciência Animal Tropical)** - Universidade Federal do Tocantins, Araguaína.
- BACELAR, E. L. et al. Water use strategies of plants under drought conditions. **Springer Berlin Heidelberg**. Plant Responses to Drought Stress. p.145–170, 2012.
- BAPTISTA RB, MORAIS RF, LEITE JM, SCHULTZ N, ALVES BJR, BODDEY M, URQUIAGA S (2014). Variations in the ¹⁵N natural abundance of plant-available N with soil depth: their influence on estimates of contributions of biological N₂ fixation to sugar cane. **Appl Soil Ecol** **73:124–129**. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.008>.
- BARROS, B. G. DE F. et al. Biological nitrogen fixation in field-grown sorghum under different edaphoclimatic conditions is confirmed by N isotopic signatures. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 117, n. 1, p. 93–101, 1 maio 2020.
- BASSO, C.J. 1999. Épocas de aplicação de nitrogênio para o milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema plantio direto (**Tese de Mestrado**) Santa Maria,

Universidade Federal de Santa Maria, 91p.

BATISTA, P. S. C.; MENEZES, C. B.; CARVALHO, A. J.; PORTUGAL, A. F.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; SANTOS, C. V.; JULIO, M. P. M. Performance of grain sorghum hybrids under drought stress using GGE biplot analyses. **Genetics and Molecular Research**. v. 16, n. 3, p. 1-12, 2017.

BENEŠOVÁ, M. et al. The physiology and proteomics of drought tolerance in Maize: Early stomatal closure as a cause of lower tolerance to short-term dehydration? **PLoS ONE**, v. 7, n. 6, p. 1–17, 2012.

BOARD, J.E.; KAHN, C.S. Soybean yield formation: What controls it and how it can be improved. In: HANYA. EL-SHEMY (Ed). **Soybean Physiology and Biochemistry**, In Tech, 2011, p.1-36.

BOTELHO, P. R. F. Avaliação De Genótipos De Sorgo Em Primeiro Corte E Rebrota para Produção De Silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.3, p. 287-297, 2010. Disponível em:< <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/viewArticle/309>>. Acesso em 15 Maio/2021.

BRASILEIRA, E. *et al.* **BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 185**. Cultivares de Sorgo Tolerantes ao Estresse Hídrico em Pós-Florescimento. 2019.

BRASILEIRA, E. *et al.* **BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 224**. [s.d.]. BUSO, W.H.D.; MORGADO, H.S.; SILVA, L.B.; FRANÇA, A.F.S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.5, n.23, 2011.

CABRERA-BOSQUET, L.; CROSSA, J.; VON ZITZEWITZ, J.; SERRET, M.D.; ARAUS, J.L. High-throughput Phenotyping and Genomic Selection: The Frontiers of Crop Breeding Converge. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.54, p.312-320, 2012.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; COSTA, M.B.C.; MIYASAKA, S. & AMADO, T.J.C. 1992. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M.B.C., ed. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, **Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa**. p.1-55.

CANTÃO, F. R. O. 2007. Marcadores morfológicos de raiz em genótipos de milho contrastantes para tolerância à seca em resposta a estresses de fósforo e alumínio. 108 f. **Monografia (Graduação)** – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARVALHO EX, MENEZES RSC, FREITAS ADS, SAMPAIO EVSB, SIMÕES NETO DE, TABOSA JN, PRIMO DC, QUEIROZ RO (2017). The 15N natural abundance technique to assess the potential of biological nitrogen fixation (BNF) in some important C4 grasses. **Aust J Crop Sci** 11:1559–1564. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.12.pne729>.

CARVALHO, H. A; GONÇALVE, J. A. G. S; ASSIS, L. C. da S. L. C; GONÇALVE, J. de S; BRAGA, A. P. Composição químico-bromatológica de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) em diferentes tipos de silos experimentais. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA ZOOTEC**, 25., 2015. Fortaleza Anais... Fortaleza. 2015.

- CASTELETI, C.H., J.M.C. SILVA, A. SANTOS, Y M. TABARELLI. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. **Relatório apresentado** ao Workshop "Avaliação e Identificação de Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade do Caatinga" 2004. Disponível em: <http://www.biodiversitas.org/caatinga>. Acesso em 21.Abril/2021.
- CASTRO, G. F.; BORGES, I. D.; FRANCO, A. A. N.; KONDO, M. K.; LARA, J. P.; MOREIRA, S. G. 2015. Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na rebrota de dois híbridos de sorgo. **XXXI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo**.
- CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milheto e crotalária. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.27, p.575-580, 2005.
- CIAMPITTI, I. A.; PRASAD, P. V. V. Historical Synthesis-Analysis of Changes in Grain Nitrogen Dynamics in Sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v 7, p. 1-11, 2016.
- COELHO MRR, MARRIEL IE, JENKINS SN, LANYON CV, SELDIN L, O'DONNELL AG (2009). Molecular detection and quantification of nifH gene sequences in the rhizosphere of sorghum (*Sorghum bicolor*) sown with two levels of nitrogen fertilizer. **Appl Soil Ecol** **42:48–53**. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.01.010>.
- COELHO, D. S. et al. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 25–30, 2014.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira de grãos safra (2020/2021)**. Disponível em <http://www.conab.com.br>. Acesso em 20.Agosto/2021.
- CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B. de; CUNHA, T. J. F.; JESUS JUNIOR, L. A. de; ARAUJO, J. L. P. **Capítulo em Livro Técnico-Científico**. cap. 1, p. 21-48. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). *Produção de caprinos e ovinos no Semiárido*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.
- COSTA, JOÃO PAULO NUNES DA. Crescimento e Produção da Primeira Rebrota de Cultivares de Sorgo Sob Diferentes Lâmina de Irrigação. **Universidade Federal Rural do Semi-árido**, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2017.
- CUNHA, E. E.; LIMAS, J. M. de. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. **Revista Brasileira Zootécnica**. v.39, n.4, p.701-706, 2010.
- DONG, S.; JIANG, Y.; DONG, Y.; WANG, L.; WANG, W.; MA, Z.; YAN, C.; MA, C.; LIU, L. A study on soybean responses to drought stress and rehydration. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.26, p.2006–2017, 2019.
- DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C.da; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, E.J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 161-171. 2008.
- EHRlich, H.L. How microbes influence growth and dissolution. **Chemical Geology**, v.132,

p.5–9, 1996.

ERB; ZARZYCK, T.; MOEN, A.; ŠUŠTAR-VOZLIČ, J. Chloroplast proteins involved in drought stress response in selected cultivars of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Biotechnology**, v.9, 331-346, 2017.

FANCELLI, A. L. & D. Dourado Neto. 2008. Produção de milho. Guaíba: 2.ed., **Agropecuária**. 360p.

FALLAS, R.; BERTSCH, F.; ECHANDI, D.; HENRÍQUEZ, C. Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del híbrido de maíz HC-57. **Agronomía Costarricense**, San José, CR, v. 35, n. 2, p. 33-47, 2011.

FAO Global Perspectives Unit 2021. Disponível em: (http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_sorghum.html). Acesso em: Agosto/2021.

FERNANDES, L. O.; PAES, J. M.; REIS, R. A.; SOUZA, J. A.; SILVA, E. A.; LEDIC, I. L.; FERNANDES, A. R. Avaliação de cultivares de milho e sorgo para a produção de silagem. **FAZU em Revista**, Uberaba, n. 4, p.48-53, 2007.

FRANÇA, G. E. COELHO, A. M. RESENDE, M. BAHIA FILHO, A. F. C. Parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho irrigado. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo: 1992-1993**. pg. 28-29. Sete Lagoas, 1994.

FERREIRA NETO RA, FREITAS ADS, GIONGO V, CAMARGO PB, MENEZES RSC, SAMPAIO EVSB (2017). Nitrogen fixation of Poaceae and Leguminosae in a green manure experimente in the Brazilian semiarid region. **Aust J Crop Sci** **11:1559–1564**. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.11.pne726>.

FERREIRA, P. D. S.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; JAYME, D. G.; TOMICH, T. R.; RODRIGUEZ, N. M. Características agronômicas de quatro híbridos de sorgo destinados à produção de forragem, avaliados em quatro idades de corte. In: **48a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Belém, PA, 2011. Belém: UFRA, 2011. 3p.

FOLONI, J. S.; TIRITAN, C. S.; COLONEGO, J. C.; DUNDES, L. R. Rebrotas de soqueiras de sorgo em função da altura de corte e da adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, vol. 55, n. 2, p. 102-108, mar./abr. 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/3052/305226700009.pdf>>. Acesso em 17.Julho/2021.

FONSECA, I. M.; PRADO, R. M.; ALVES, A. U.; GONDIM, A. R. O. 2008. Crescimento e nutrição do sorgo (cv. BRS 304) em solução nutritiva. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, n. 2, p. 113-124.

GARCIA, J. R. M. Inovação Tecnológica e Controle de Mercado de Sementes Transgênicas de Milho. XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Anais... . p.3387– 3393, 2012. Sete Lagoas. INMET. **Normais Climatológicas 1981-2010**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>> . Acesso em 17.Julho/2021.

GARDNER, J. C., MARANVILLE, J. W. & PAPAROZZI, T. (1994). Nitrogen use efficiency

among diverse sorghum cultivars. **Crop Science**, 34, 728-733.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J.M.; BAKER, N.R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)**, v.990, p.87–92, 1989.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S.; FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.325-334, 2003.

GIROTTO, H. C. .; RODOVALHO, W. M. A. .; NAKAO, A. H. . Parâmetros agronômicos de cultivares de sorgos forrageiros em primeiro corte em razão da densidade de sementeira em solos arenosos. **Anais do fórum de iniciação científica do unifunec**, [S. l.], v. 11, n. 11, 2021. Disponível em: <https://seer.unifunec.edu.br/index.php/forum/article/view/4851>. Acesso em: 18 out. 2021.

GOMES, S. O.; PITOMBEIRA, J. B.; NEIVA, J. N. M.; CÂNDIDO, J. D. Comportamento agronômico e composição químico-bromatológico de cultivares de sorgo forrageiro no Estado do Ceará. Fortaleza, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, n.2, p.221-227, 2006.

GUO, R.†; LIAN XUAN SHI, L.X.†; YANG JIAO, Y.; LI, M.X.†; ZHONG, X.L.; GU, F.X.; LIU, Q.; XIA, X.; LI, H. **AoB Plants**, v.10, p.1-13, 2018.

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J.H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, v 10, p 4–10, 2015.

HE, YU, J.Y.; SHI, J.G.; MA, X.; DANG, P.F.; YAN, Y.L.; MAMEDOV, A.I.; SHAINBERG, I.; LEVY, G.J. Superabsorbent Polymer Properties and Concentration Effects on Water Retention under drying conditions. **Soil and Water Management and Conservation**, v.81, p.889-901, 2017.

JAYME-OLIVEIRA, A., JÚNIOR, W.Q.R.; RAMOS, M.L.G; ZIVIANI, A.C.; JAKELAITIS, A. Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, p.561-571, 2017.

JI, K.; WANG, Y.; SUN, W. Drought-responsive mechanisms in rice genotypes with contrasting drought tolerance during reproductive stage. **Journal of Plant Physiology**, v.169, p.336–344, 2012.

KAPPES, C. et al. Germinação, Vigor De Sementes E Crescimento De Plântulas De Milho Sob Condições De Déficit Hídrico. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 2, p. 125, 2009.

KAVAMURA, V.N.; SANTOS, S.N.; SILVA, J. L.; PARMA, M. M.; ÁVILA, L.A.; VISCONT, A.; ZUCCHI, T. D.; TAKETANI, R. G.; ANDREOTE, F. D.; MELO I. S. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v 168, p. 183–191, 2013.

KELLER, B.; VASS, I.; MATSUBARA, S.; PAUL, K.; JEDMOWSKI, C.; PIERUSCHKA, R.; NEDBAL, L.; RASCHER, U.; MULLER, O. Maximum fluorescence and electron transport kinetics determined by light-induced fluorescence transients (LIFT) for photosynthesis phenotyping. **Photosynthesis Research**, v.140, p.221-233, 2018.

KEREN, N.; PALTIEL, Y. Photosynthetic Energy Transfer at the Quantum/Classical Border. **Trends in Plant Science**, v.23, p.1-10, 1997.

KOLBER, Z.; KLIMOV, D.; ANANYEV, G.; RASCHER, U.; BERRY, J.; OSMOND, B. Measuring photosynthetic parameters at a distance: laser induced fluorescence transient (LIFT) method for remote measurements of photosynthesis in terrestrial vegetation. **Photosynthesis Research**, v.84, p.121–129, 2005.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. Cultivo de sorgo: Clima. (Sistema de Produção, 2). 6. ed. 2010. **Embrapa Milho e Sorgo**. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicações/sorgo_6_ed/clima>. Acesso em Abril/2021.

LIAO, C. F. H. Devarda's alloy method for total nitrogen determination. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, p. 852–855, 1981.

LIMA, B. L. C. Cultivo do algodoeiro BRS Rubi com água de esgoto doméstico tratado e doses de potássio no semiárido pernambucano. 2018. 141p. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)** – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

LIU, Q.; XIA, X.; LI, H. **AoB Plants**, v.10, p.1-13, 2005.

LONG, S.P.; FARAGE, P.K.; GARCIA, R.L. Measurement of leaf and canopy photosynthetic CO₂ exchange in the field. **Journal of Experimental Botany**, v.47, p.1629-1642, 1996.

LOPES, LUCAS SILVA. Universidade federal do Piauí campus professora Cinobelina Elvas. Programa de Pós-graduação em Zootecnia. Caracterização agrônômica, composição química e degradabilidade in situ entre híbridos de sorgo duplo propósito. **Dissertação** - 2016.

LUNA MF, GALAR ML, APREA J, MOLINARI ML, BOIARDI JL (2010). Colonization of sorghum and wheat by seed inoculation with *Gluconacetobacter diazotrophicus*. **Biotechnol Lett** **32:1071–1076**. <https://doi.org/10.1007/s10529-010-0256-2>.

MACHADO, L. A. Z.; VALLE, C. B. do. Misturas de forrageiras anuais e perenes para sucessão à soja em sistemas de integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, p. 1454-1462, 2012.

MACHADO, L.A.Z.; ASSIS, P.G.G. de. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.415-422, 2010.

MACHADO, LUÍS; ARMANDO, ZAGO MACHADO. Sorgo para pastejo/corte e cobertura do solo no período de outono/inverno (safrinha) em Mato Grosso do Sul / Luís Armando Zago Machado, Paulo Giovanni Gall de Assis, Clino Palombo. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2004.

MAGALHÃES, P. C. et al. PhD, Fisiologia Vegetal, **Embrapa Milho e Sorgo**. Caixa Postal 151 CEP. MG 1 Eng. Agr, v. 35, p. 701–970, 2003.

MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; VIANA, J. H. M. Resposta fisiológica do sorgo ao estresse hídrico em casa de vegetação. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012a. 21 p. **Embrapa Milho e Sorgo**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Ecofisiologia da produção de sorgo. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2003. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 87).

MAGALHÃES, R. T.; GONÇALVES, L. C.; MAURÍCIO R. M.; RODRIGUES, J. A. S.; BORGES, I.; RODRIGUES, N. M.; SALIBA, E. O. S.; ARAÚJO, V. L. Avaliação de quatro genótipos de sorgo pela técnica in vitro semi-automática de produção de gases. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.101-111, 2006.

MAIA, J. et al. Motivações socioeconômicas para a conservação e exploração sustentável do bioma caatinga. Desenvolvimento e Meio Ambiente. **Sistema Eletrônico de Revistas**. UFPR. v. 41, p. 295-310, agosto 2017. DOI: 10.5380/dma.v41i0.49254.

MARENCO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, DF: MMA, 2006. 202 p. il. (**Biodiversidade**, 26).

MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v.51, p.659–668, 2000.

MENEZES, L.A.S.; LEANDRO, W.M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, p.173-180, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Brasília: **ICMBio**, 2019.

MIRANDA, J.E.C.; PEREIRA, J.R. Tipos de sorgo para silagem. Juiz de Fora, MG: **Embrapa Gado de Leite**, 2006. 2p. - (Instruções técnicas para o produtor de leite).

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal, Madison**, v. 74, p. 562-564.

MOREIRA, L. R.; ERVILHA, J. D. C.; COUTINHO, P. H.; VIDIGAL, J. G.; OGLIARI, J.; MIRANDA, G. V.; PEREIRA, L. F. Caracterização fisiológica de sorgo sacarino em diferentes intensidades de irrigação. **Revista Vértices**, v. 15, n. 2, p. 39-48, 2013.

MORAES, D. In vivo. FIOCRUZ. **Bioma Caatinga**, 2016. Disponível em: <<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoiiovcvdsnnviod=962sid=2>>. Acesso em: 18.Julho/2021.

MURILO, S., & DE ARAÚJO, S. RIOS. **Eletrônica-Revista Científica da FASETE**. A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. Ano 5 n. 5 dezembro de 2011.

NAEINI, S. Z.; EMAMI, N. K.; ROWGHANI, E.; BAYAT, A. Influence of ensiling time on chemical composition, fermentation characteristics, gas production and protein fractions of sweet sorghum silage. **Journal Research Opinions in Animal and Veterinary Sciences**, 2014, vl.4, n.6, p. 286-293.

NEUMANN, M. et al. Avaliação da qualidade e do valor nutritivo da silagem de híbridos de

- sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 03, n. 01, p. 120-133, 2004.
- NEUMANN, M. et al. Avaliação de Diferentes Híbridos de Sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) quanto aos Componentes da Planta e Silagens Produzidas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 01, p. 302-312, 2002.
- NEUMANN, M., RESTLE, J., SOUZA, A. N. M., PELLEGRINI, L. G., ZANETTE, P. M., NORNBORG, J. L. & SANDINI, I. E. (2010). Desempenho vegetativo e qualitativo do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* X *Sorghum sudanense*) em manejo de cortes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 9(3), 298-313.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; BRONDANI, I. L. Avaliação de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) ou milho (*Zea mays*, L.) na produção do novilho superprecoce. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 03, n. 03, p. 438-452, 2004.
- NOBRE, P.; MELO, A. B. C. Variabilidade climática intrasazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. **Revista Climanálise, Cachoeira Paulista**, v. 2, n. 1, p. 1-10, dez. 2001. Disponível em: <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista/pdf/artigo_variabilidade_dez01.pdf>. Acesso em: Maio/2021.
- OLIVEIRA, A. B.; ALENCAR, N. L.; GOMES FILHO, E. Comparison Between the Water and Salt Stress Effects on Plant Growth and Development. In: S. Akinci (Ed.); Responses of Organisms to Water Stress. **INTECH Open Access Publisher**, 1a ed., p.67-94, 2013.
- OLIVEIRA, C. M. S.; VIANNA, P. J. R. Desenvolvimento regional: 50 anos do BNB. Fortaleza: **Banco do Nordeste do Brasil**, 2005. 340 p.
- OLIVEIRA, J. S.; FERREIRA, R. P.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, A. V.; BOTREL, M. A.; VON PINHO, R. G.; RODRIGUES, J. A. S.; LOPES, F. C. F.; MIRANDA, J. E. C. Adaptabilidade e estabilidade em cultivares de sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.883-889, 2002 (Suplemento).
- OSMOND; PIERUSCHKA, R.; KLIMOV, D.; BERRY, J.A.; C.B.; RASCHER, U.; KOLBER, Z.S. Remote Chlorophyll fluorescence measurements with the Laser-Induced Fluorescence Transient Approach. **Methods in Molecular Biology**, v.918, p.51-59, 2017.
- P.C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S.; FARIAS, J. R.B.; HAMPF, A.C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v.153, p.1394-1411, 2015.
- PARRY, M.A.J.; ANDRALOJC, P.J.; KHAN, S.; LEA, P.J.; KEYS, A.J. Rubisco Activity: Effects of Drought Stress. **Annals of Botany**, v.89, p.833-839, 2002.
- PERAZZO, A. F.; E. M. SANTOS, PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; RAMOS, J. P. de F.; AQUINO, M. M. de; SILVA, T. C. DA; BEZERRA, H. F. C. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, v.43, n.10, p.1771-1776, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.phpscript=sci_arttext&pid=S0103-8478201300100000>. Acesso em 19.Agosto/2021.

- PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; RAMOS, J. P. F.; AQUINO, M. M.; SILVA, T. C.; BEZERRA, H. F. C. 2013. Características agrônômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1771-1776.
- PEREIRA, L.F. Validação de sensores e avaliações fisiológicas em soja suprida com polímero superabsorvente e pó de rocha sob regimes hídricos variáveis. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, **Universidade de Brasília**, 2020, 153p. Tese de Doutorado.
- PEREIRA, R. G.; OLIVEIRA, F. H. T.; SILVA, G. F.; PAIVA, M. R. F. C.; JÚNIOR, J. N. 2014. Rendimento do sorgo granífero adubado com nitrogênio e fósforo no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.3, p. 285-299.
- PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M.; CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.35-40, 2004.
- PIERUSCHKA, R.; ALBRECHT, H.; MULLER, O.; BERRY, J.A.; KLIMOV, D.; KOLBER, Z.S.; MALENOVSKÝ, Z.; RASCHER, U. Daily and seasonal dynamics of remotely sensed photosynthetic efficiency in tree canopies. **Tree Physiology** v.xx, p.1–12, 2014.
- PIERUSCHKA, R.; ALBRECHT, H.; MULLER, O.; BERRY, J.A.; KLIMOV, D.; KOLBER, Z.S.; MALENOVSKÝ, Z.; RASCHER, U. Daily and seasonal dynamics of remotely sensed photosynthetic efficiency in tree canopies. **Tree Physiology** v.xx, p.1–12, 2014.
- PINEDO, L. A. *et al.* Silagem de sorgo aditivada com coproduto alternativo da torta de semente de cupuaçu. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 29633–29645, 2019.
- PRADO, D. E.. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Org.). As Caatingas Da América do Sul. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 3-74.
- QUEIROZ, L. P.; RAPINI, A.; GIULIETTI, A. M. Rumo ao Amplo Conhecimento da Biodiversidade do Semiárido Brasileiro. **Ministério da Ciência e Tecnologia**. Brasília, 2005.
- RAMEGOWDA, V.; SENTHIL-KUMAR, M. The interactive effects of simultaneous biotic and abiotic stresses on plants: Mechanistic understanding from drought and pathogen combination. **Journal of Plant Physiology**, v176, p.47–54, 2015.
- RAVEN, J.A. Rubisco: still the most abundant protein of Earth? **New Phytologist**, 198, p.1–3, 2013.
- R CORE TEAM (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available in: <<https://www.R-project.org>> (Accessed on June 10, 2021).*
- REDDY BVS, RAMESH S, ASHOK KUMAR A, WANI S P, ORTIZ R, CEBALLOS H AND SREEDEVI T K. 2011. Bio-fuel crops research for energy security and rural development in developing countries. **Bioenergy Research** 1: 248–58.
- REDDY, G. B. & REDDY, K. R. 1993. Fate of nitrogen¹⁵ enriched ammonium nitrate applied to corn. **Soil Science Society of the America Journal, Madison**, v. 57, p. 111-115.

REICHGELT, T.; ANDREA, W.J.D. Plant carbon assimilation rates in atmospheric CO₂ reconstructions. **New Phytologist**, v.223, p.1844-1855, 2019.

REIS, V. M.; TEIXEIRA K.R.S. AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. Processos biológicos no sistema solo - planta - Ferramentas para uma agricultura sustentável. O Estado da arte Cap 6 In. **Embrapa informação tecnológica**, 2019.

RELATÓRIO DO IPCC/ONU. Novos Cenários Climáticos - Versão em português: iniciativa da Ecolatina. 2021. Disponível em: http://fmclimaticas.org.br/wpcontent/uploads/2014/03/IPCC-contribui__es-do-G.-I-ao-4-relat_rio-A-base-da-CienciaF_sica.pdf. Acesso em 02.Agosto/2021.

RESENDE, E. A. N.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; LITZ, F. H.; MARTINS, W. G.; ZANDONADI, C. H. S.; ZERO, A. L. Avaliação de variedades de sorgo para forragem na safrinha. In: **XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Salvador, BA. 2014: Salvador: ABMS, 2014. 4p.

RESTLE, J. et al. Manipulação da altura de corte da planta de milho (*Zea mays*, L.) para ensilagem visando a produção do novilho superprecoce. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 03, p. 1235-1244, 2002.

REZENDE, G.M.; PIRES, D. A. A.; BOTELHO, P. R. F.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; SALES, E. C. J.; JAYME, D. G.; REIS, S. T.; PIMENTEL, L. R.; LIMA, L. O. B.; KANEMOTO, E. R.; MOREIRA, P. R. Características agrônômicas de cinco genótipos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cultivados no inverno, para a produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, n.2, p.171-179, 2011.

ROHÁČEK, K.; SOUKUPOVÁ, J.; BARTÁK, M. Chlorophyll fluorescence: A wonderful tool to study plant physiology and plant stress. In: SCHOEFS, B. (Ed.). **Plant Cell Compartments-Selected Topics**, 2008, p.41-104.

RONCATO-MACCARI LDB, RAMOS HJO, PEDROSA FO, ALQUINI Y, CHUBATSU LS, YATES MG, RIGO LU, STEFFENS MBR, SOUZA EM (2003). Endophytic *Herbaspirillum seropedicae* expresses nif genes in gramineous plants. **FEMS Microbiol Ecol** **45:39–47**. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(03\)00108-9](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(03)00108-9).

SANTOS, F. C., ALBUQUERQUE FILHO, M. R., RESENDE, A. V., OLIVEIRA, A. C., OLIVEIRA, M. S. & GOMES, T. C. (2015). Adubação nitrogenada e potássica na nutrição e na extração de macronutrientes pelo sorgo biomassa. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 14(1), 10-22.

SANTOS, F. G.. IN: RODRIGUES J. A. S, VERSIANI, R.P; FERREIRA MTR (EDS.). Cultivo do Sorgo, Sistemas de Produção. **EMBRAPA: CNPMS**, 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 19.Junho/2021.

SCHNEIDER, J. R., CARON, B. O., ELLI, E. F., SCHWERZ, F. & ENGROFF, T. D. (2019). Cutting management modifies the phyllochron, the growth and the production of forage sorghum under the cool environment. **Archivos de Zootecnia**, 68 (264), 552-560.

SHAO, H. B. et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus - Biologies**, 2008.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v 22, p. 123-131, 2014.

SILVA et al. Comportamento Agronômico de Cultivares de Sorgo Granífero Avaliados em Safrinha. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas** V. 4, N. 3, p. 40, 2010.

SILVA JF, SILVA TR, ESCOBAR IEC, FRAIZ ACR, SANTOS JWM, NASCIMENTO TR, SANTOS JMR, PETERS SJW, MELO RF, SIGNOR D, FERNANDES-JUNIOR PI (2018). Screening of plant growth promotion ability among bacteria isolated from field-grown sorghum under different managements in Brazilian drylands. **World J Microbiol Biotechnol** **34:186**. <https://doi.org/10.1007/s11274-018-2568-7>.

SILVA, A. G.; ROCHA, V. S.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, T.; PINTO, G. H. F. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo forrageiro semeados em diferentes épocas do ano. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. 4(1):112-125, 2005.

SILVA, D. F. DA *et al.* Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e12310313172, 8 mar. 2017.

SILVA, H. W., GUIMARÃES, C. R. B., ANDRIGUETTI, A. C., GODINHO, A. M. M., SANTOS, A. T., ARAÚJO, E. B., FACHIANO JÚNIOR, L. C. & PEREIRA, C. W. J. (2020). Produtividade de sorgo forrageiro em função do intervalo de corte e da rebrota. **Brazilian Journal of Development**, 6(3), 14441-14450.

SILVA, J. V. et al. Crescimento e osmorregulação em dois genótipos de sorgo submetidos a estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, nº.2, p. 125 - 131, 2003.

SILVA, P. C. G. da. MOURA, M. S. B. de. KIILL, L. H. P. BRITO, L. T. de L. PEREIRA, L. A. SA, I. B. CORREIA, R. C. TEIXEIRA, A. H. de C. CUNHA, T. J. F. GUIMARÃES FILHO, C. IN: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. DA. (ED.). Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. **Petrolina: Embrapa Semiárido**, cap. 1, p. 18-48, 2010.

SILVA, R. A.; PARRELLA, R. A. C.; SOUZA, V. F.; SANTOS, C. V.; RIBEIRO, P. C. O; SILVA, M. J.; BERNARDINHO, K. C.; SCHAFFERT, R. E.; RABELO, M. M.; OLIVEIRA, M. S. Avaliação do desempenho agronômico de híbridos experimentais de sorgo biomassa. In: **9º Congresso Internacional de Bioenergia**, Outubro, 2014. São Paulo, SP.

SILVA, W. L., BASSO, F. C., RUGGIERI, A. C., VIEIRA, B. R., ALVES, P. L. C. A. & RODRIGUES, J. A. S. (2012) Características morfológicas e estruturais de híbridos de sorgo submetidos a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 7(4), 691-696.

SOUSA G. G.; MARINHO, A. B.; ALBUQUERQUE, A. H. P.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B.M. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p.237-245, 2012.

SOUSA, S. S.; TOMASELLA, J.; GARCIA, M. G.; AMORIM, M. C.; MENEZES, P. C. P.; PINTO, C. A. M. O. Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real na área de atuação da SUDENE - PROCLIMA. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 1, p. 15-24, 2001.

- SOUSSI, A.; FERJANI, R.; MARASCO, R.; GUESMI, A.; CHERIF, H.; ROLLI, E.; MAPELLI, F.; OUZARI, H. I.; DAFFONCHIO, D.; CHERIF, A. Plant-associated microbiomes in arid lands: diversity, ecology and biotechnological potential. **Plant Soil**, p.1-14, 2015.
- SOUZA, V. G. et al. Valor Nutritivo de Silagens de Sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 03, p. 753-759, 2003.
- SUZUKI, L.E.A.S.; ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v.65, p.121-127, 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal. 5a ed.** Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TANAKA, A. A. Desenvolvimento de plantas de sorgo submetidas a diferentes níveis de lençol freático. 2010. 54 f. Dissertação (**Mestrado em Agronomia**) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- TARDIN, F. D.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivares Cultivo do sorgo.4. ed. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2008.
- TAUB, D.R. Effects of rising atmospheric concentrations of carbon dioxide on plants. **Nature Education Knowledge**, v.21,1p.-7, 2010.
- TEIXEIRA PC, DONAGEMMA GK, FONTANA A, TEIXEIRA WG. Manual de métodos de análise de solo, 3rd edn. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, Brasília, 2017.
- THEODORO, G. de F.; RIBEIRO, M. M. .; PACHECO, F. B. de S.; MIYAKE, A. W. A. Forage sorghum yield as a function of nitrogen rates and cut management. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 11, p. e109101119401, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19401. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19401>. Acesso em: 19.oct/2021.
- TIESSEN H, SAMPAIO EVSB, SALCEDO IH (2001) Organic matter turnover and management in low input agriculture of NE Brazil. **Nutr Cycl Agroecosyst** **61:99–103**. <https://doi.org/10.1023/A:1013384730492>.
- TINGTING, X.; PEIXI, S.; LISHAN, S. Photosynthetic characteristics and water use efficiency of sweet sorghum under different watering regimes. Pakistan. **Journal of Botany**, v. 42, p. 3981-3994. 2010.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.421-428, 2008.
- TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; DANTAS NETO, J. Variações Sazonais de Aspectos Fisiológicos de Espécies da Caatinga. **REV. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.11, n.3. Campina Grande: 2007. p.307–311.
- VASCONCELLOS, C. A.; VIANA, M. C. M.; FERREIRA, J. J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 11, pg. 1835-1945. Brasília, 1998.
- VIÉGAS, I. DE J. M.; BATISTA, M. M. F.; FRAZÃO, D. A. C.; CARVALHO, J. G. DE;

SILVA, J. F. 2002. Avaliação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S em plantas de gravioleira cultivadas em solução nutritiva com omissão de macronutrientes. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 38, p. 17-28.

VIEIRA-MEGDA, M.X.; MARIANO, E.; LEITE, J.M; FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; MEGDA, M.M.; KHAN, S.A.; VANEY, R.L.; TRIVELIN P.C.O. 2015. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**: v:101: pg 241-257.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I. D.; RESENDE, A. V. Influência da altura de corte das plantas nas características agronômicas e valor nutritivo das silagens de milho e de diferentes tipos de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. 5(2):266-279, 2006.

YAN, N.; MARSCHNER, P.; CAO, W.; ZUO, C.; QINA, W. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, v3, p. 316–323, 2015.

YOON V, TIAN G, VESSEY JK, MCFIE SM, DANGI OM, KUMER AK, TIAN L (2016). Colonization efficiency of different sorghum genotypes by *Gluconacetobacter diazotrophicus*. **Plant Soil** 398:243–256. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2653-8>.

ZAGO, C. P. *et al.* Utilização do sorgo na alimentação de ruminantes. In: Manejo Cultural do Sorgo para forragem. **Sete Lagoas, MG: Embrapa-CNPMS**. 1997. 62p. (Circular Técnica, 17).

ZHAO, D., REDDY, K. R., KAKANI, V. G. & REDDY, V. R. (2005). Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. **European Journal of Agronomy**, 22, 391-403.

ZHENG, G.; CHEN, J.; LI, W. Impacts of CO₂ elevation on the physiology and seed quality of soybean. **Plant Diversity**, v.42, p.44-51, 2020.