



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

HÉLIO DE SOUZA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E POTENCIAL  
BIOENERGÉTICO DAS CULTIVARES DE SORGO SACARINO E  
BIOMASSA SOB BAIXA LATITUDE**

PALMAS– TO

2018

HÉLIO DE SOUZA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E POTENCIAL  
BIOENERGÉTICO DAS CULTIVARES DE SORGO SACARINO E  
BIOMASSA SOB BAIXA LATITUDE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Agroenergia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr.<sup>a</sup>. Flávia Lucila Tonani de Siqueira

PALMAS– TO

2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

D467c De Souza, Hélio .  
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E POTENCIAL BIOENERGÉTICO  
DAS CULTIVARES DE SORGO SACARINO E BIOMASSA SOB BAIXA  
LATITUDE. / Hélio De Souza. – Palmas, TO, 2018.

57 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins  
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em  
Agroenergia, 2018.

Orientador: Profa Dra. Flávia Lucila Tonani de Siqueira Siqueira

1. Biomassa. 2. Poder calorífico. 3. Genótipos. 4. Energia potencial. I.  
Título

**CDD 333.7**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer  
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.  
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184  
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E POTENCIAL  
BIOENERGÉTICO DAS CULTIVARES DE SORGO SACARINO E  
BIOMASSA SOB BAIXA LATITUDE**

**ALUNO: Hélio de Souza**

**Data da Defesa: 30/11/2018**

COMISSÃO EXAMINADORA

Presidente:

Dra. Flávia Lucila Tonani de Siqueira – UFT

Examinadores:

Dr. Guilherme Benko de Siqueira – UFT

Dr. Joênes Mucci Peluzio – UFT

Dr. Expedito Alves Cardoso – UNITINS

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente, ao meu Deus, criador dos céus e da terra, a minha amada mãe (*in memoriam*), Diná de Souza Lima, à minha esposa e aos meus filhos.

## AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, sou grato ao meu Deus, mediante Jesus Cristo, meu único Senhor e Salvador!

Quero expressar a minha gratidão a minha mãe (*in memoriam*), por me dar força, estimular-me e compreender os momentos que tive que renunciar a sua companhia para poder terminar esta dissertação. Durante a construção dessa dissertação a senhora ainda fazia parte desse mundo, pena que não deu tempo para senhora vivenciar essa conquista. Sentirei a sua falta eternamente!!!

A minha esposa Marileide F. M. Souza, por me apoiar nos momentos mais difíceis e dedicar o seu precioso tempo para me ajudar com as suas análises críticas e enriquecedoras durante todo o processo de construção desta dissertação. Você foi fundamental! O seu amor, carinho, companheirismo e paciência foram a base fortalecedora para eu crer ainda mais que, para Deus, não há nada impossível. Obrigada por tudo, meu amor!

Aos meus filhos Ana Carolina A. S. Souza, Luiz Felipe A. S. Souza e Maria Eduarda A. S. Souza, vocês são minhas heranças, a minha gratidão e o amor que nos une fortalece ainda mais. Amo vocês!

À minha professora e orientadora Dr<sup>a</sup> Flávia Tonani ao prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Guilherme Benko Saiba que as notas dominantes das suas orientações foram preponderantes para a construção desta dissertação! A cordialidade, educação, dedicação, preocupação e companheirismo de vocês foram essenciais para a construção desse trabalho. A liberdade de ação que vocês me concederam foi crucial para o meu crescimento profissional e pessoal. Meu muito obrigado!

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural - Ruraltins na pessoa do Diretor de Assistência Técnica Valdivino Melo de Fraga e do Gerente de Assistência Técnica e Extensão Rural Edmilson Rodrigues por entender a importância da capacitação técnica no processo de aperfeiçoamento institucional, dispondo das estruturas físicas, dos recursos humanos e financeiros durante toda a pesquisa. Meu muito obrigado!

Ao pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo o Drº Rafael Parrella pelo apoio e suporte técnico prestados de forma incondicional durante todo o período de condução desse estudo.

Ao meu amigo extensionista rural da Secretaria de Desenvolvimento Rural de Palmas pelo o trabalho, desempenho e suporte técnico prestados na condução da pesquisa ao longo do desenvolvimento da cultura.

Ao meu amigo, professor e pesquisador Alisson Santos pelo incentivo, ensinamentos e contribuição dispensados em pro do desenvolvimento acadêmico no decorrer dessa jornada.

Aos meus colegas e companheiros do mestrado, em especial, Cesar Augusto Costa Nascimento, as suas contribuições principalmente durante a finalização dessa dissertação foram essenciais, meu muito obrigado!

Aos meus colegas de trabalho, especialmente a Lara Neiva, Adão Carneiro, Odílio Menezes, Tarco Moraes, Ana Luíza, Vanda Lucia e Lucimar saibam que vocês, cada uma com seu jeito e disposição em ajudar, contribuíram para essa conquista na minha vida! Meu muito obrigado!

Aos funcionários do laboratório de solos da Universidade Federal do Tocantins, especialmente, Domingos B. Ribeiro dos Santos pelas contribuições dispensadas nos serviços de campo e laboratoriais. A sua cordialidade foi fundamental nesse momento, Muito obrigado!

## RESUMO

O sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench planta do tipo C4 de características semelhantes à cana de açúcar é uma alternativa para de entressafra nas usinas, para produção de bioetanol e combustão em substituição ao bagaço de cana e outras fontes energéticas nos diversos seguimentos industriais. Este trabalho objetivou avaliar o desempenho agrônômico e o potencial bioenergético das cultivares de sorgo sacarino e biomassa no Tocantins. Foram avaliados os genótipos Malibu (S), BRS 511(S), Palo Alto (B) e cv BRS 716 (B) no Centro Agrotecnológico em Palmas (TO) e o delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados, com 3 blocos, 4 tratamentos e 15 repetições, sendo que a população média de 134 a 166 mil plantas/ha<sup>-1</sup>. Os genótipos BRS 511(S) com 3,51m e 5,61m para cv BRS 716 (B) resultaram em maiores produtividades de matéria verde (PMV) e matéria seca (MS), com 108,58 ton MV/ha<sup>-1</sup> e 32,17 ton MS./ha<sup>-1</sup> e de 166,34 ton MV./ha<sup>-1</sup> e 66,96 ton MS./ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A cv BRS511(S) destacou-se pelos os altos de rendimentos de produtividade de colmo (76,1%), volume de caldo com 46.690 L/ ha<sup>-1</sup> e °Brix de 14,73, diferindo-se estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) e influenciando diretamente na produção de etanol. A cv BRS 716 (B) apresentou maior poder calorífico superior 18,43MJ/kg<sup>-1</sup> de matéria seca e energia potencial 1235,81 GJ/ha<sup>-1</sup> sendo o material que se destacou em relação aos demais quanto aos parâmetros avaliados.

Palavras Chaves: Biomassa; Poder Calorífico; Genótipos; Energia Potencial.

## ABSTRACT

*Sorghum sorghum bicolor* (L.) Moench type C4 plant with characteristics similar to sugar cane is an alternative for off-season in the plants, for the production of bioethanol and combustion in substitution of sugarcane bagasse and other energy sources in the various industrial segments. This work aimed to evaluate the agronomic performance and the bioenergy potential of sorghum and biomass cultivars in Tocantins. The genotypes Malibu (S), BRS 511 (S), Palo Alto (B) and cv BRS 716 (B) were evaluated at the Agrotechnology Center in Palmas (TO) and a completely randomized block design with 3 blocks, 4 treatments and 15 replicates, the average population being 134 to 166 thousand plants / ha<sup>-1</sup>. The BRS 511 (S) genotypes with 3.51m and 5.61m for BRS 716 (B) cv resulted in higher yields of green matter (PMV) and dry matter (DM), with 108.58 ton / 32.17 ton MS/ha<sup>-1</sup> and 166.34 ton. /ha<sup>-1</sup> and 66.96 ton MS./ha<sup>-1</sup>, respectively. The cv BRS511 (S) was distinguished by high yield yields of culm (76.1%), broth volume with 46,690 L / ha-1 and °Brix of 14.73, differing statistically (p≤ 0,05) and directly influencing ethanol production. The cv BRS 716 (B) presented higher heat capacity 18.43MJ / kg<sup>-1</sup> of dry matter and potential energy 1235.81 GJ / ha<sup>-1</sup> being the material that stood out in relation to the others regarding the parameters evaluated.

Keywords: Biomass; Calorific Power; Genotypes; Potential Energy

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 01 – Vista da após o preparo do solo .....	27
Figura 02 – Vista da parcela logo o plantio.....	28
Figura 03 – Avaliação da produção de caldo de sorgo.....	30
Figura 04 – Determinação de cinzas.....	32
Figura 05 – Demarcação da área experimental (1016,5 m <sup>2</sup> ) .....	33
Figura 06 – Vista do experimento após 21 dias .....	34
Figura 07 – Detalhe da parcela (2,90m x 3,20) e espaçamento entre linhas (0,70m) ....	34
Figura 08 – Vista completa do experimento de sorgo sacarino e biomassa aos 43dias;	35

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 – Resumo das análises de variância para o número de plantas por hectare (estande/ha), altura de plantas (m), peso por planta (kg), produção de matéria verde (ton/ha), porcentagem de matéria seca (%) e produção de matéria seca (ton/ha) de cultivares de sorgo sacarino e biomassa para a produção de etanol.....	40
Tabela 02 – Resumo das análises de variância (ANOVA) demonstram os parâmetros como: Colmo (%), volume de caldo (V.Caldo), rendimento de caldo (R.Caldo), rendimento de bagaço (R.Bagaço), °Brix (%), pH e rendimento de etanol (R.Etanol), a média e o coeficiente de variação (CV %) das cultivares de sorgo sacarino e biomassa. .....	46

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 01 – Monitoramento agroclimático de Palmas – TO entre o período de dezembro de 2017 e julho de 2018.....	26
Gráfico 02 – Avaliação da evolução da taxa de emergência das cultivares de sorgo sacarino e biomassa .....	37
Gráfico 03 – Estádio reprodutivo dos cultivares de sorgo sacarino e biomassa.....	39
Gráfico 04 – Evolução da formação estrutural da planta de acordo com os ciclos vegetativos das cultivares de sorgo sacarino e biomassa .....	41
Gráfico 05 – Apresenta a composição estrutural da planta (%) das cultivares de sorgo sacarino e biomassa, no estágio final de maturação fisiológica dos grãos.....	44
Gráfico 06 – Apresenta a composição bioenergética PMS (ton./ha-1), PCS (MJ/Kg-1) e EP (GJ/ha-1) da planta de sorgo entre as cultivares sacarino e biomassa no estágio final de maturação fisiológica dos grãos.....	50

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	15
2.	OBJETIVO.....	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA .....	19
3.1	Oferta interna de energia provida da biomassa .....	19
3.2	Caracterização do Sorgo.....	19
3.2.1	Zoneamento agroclimático do sorgo sacarino .....	20
3.2.2	Sorgo sacarino .....	20
3.2.3	Sorgo biomassa .....	22
3.2.4	Utilização do sorgo na produção de etanol.....	23
3.2.4.1	<i>Etanol de sorgo de primeira geração</i> .....	23
3.2.4.2	Etanol celulósico ou de segunda geração .....	24
3.2.4.3	Fatores que influenciam o rendimento de etanol.....	25
4.	MATERIAL E MÉTODO.....	26
4.1	Local e condições climáticas.....	26
4.2	Preparo do solo.....	26
4.2.1	Coleta e análise do solo .....	26
4.2.2	Correção e adubação do solo.....	27
4.2.3	Plantio dos cultivares de sorgo .....	27
4.3	Parâmetros avaliados.....	28
4.3.1	Avaliação fenológica das cultivares de sorgo .....	28
4.3.2	Avaliação da produção de caldo do sorgo.....	29
4.3.3	Determinação do °Brix.....	30
4.3.4	Determinação do p H.....	30
4.3.5	Estimativa da produção de Etanol .....	31
4.4	Características químicas e energéticas .....	31
4.4.1	Preparo da biomassa.....	31
4.4.2	Determinação das cinzas .....	31
4.4.3	Determinação do poder calorífico superior (PCS) .....	32
4.5	Delineamento estatístico e análise estatística.....	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	36
5.1	Avaliações fenológicas das diferentes cultivares de sorgo.....	36
5.1.1	Taxas de emergência das sementes das cultivares de sorgo sacarino e biomassa.....	36
5.1.2	Florescimento e maturação fisiológica dos grãos.....	37

5.1.3	Resultados de produtividade das cultivares de sorgo Sacarino e biomassa .....	40
5.1.4	Participação percentual da planta de sorgo .....	44
5.2.1	Produção de massa do colmo, volume de caldo extraído e rendimento de caldo e bagaço.	45
5.2.2	Estimativa da produção de etanol.....	48
5.2.3	Avaliação Bioenergética .....	49
5.2.3.1	Teor de cinzas.....	49
5.2.3.2	Poder calorífico superior .....	49
5.2.3.3	Energia Potencial.....	50
5	CONCLUSÃO .....	52

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Dias (2017), os efeitos climáticos, erros de planejamento e gestão e a falta de investimento do setor elétrico, colocam em risco o abastecimento de energia do país. O ONS (2017), apontam um indicador da gravidade da situação que é a quantidade de energia armazenada dividida pelo consumo de cada mês, chamado de “poupança de energia”. Esse indicador, em dezembro de 2016 voltou ao patamar do período pré-crise 2001, onde os estoques armazenados eram aproximadamente 1,5 meses de consumo apenas.

As demandas por energias limpas e renováveis promovem um ambiente favorável ao mercado agrícola, através do desenvolvimento de fontes alternativas de energias a partir da biomassa como: os bicombustíveis, bioeletricidade e biogás. Os dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2017), indicam um crescimento de 9% na geração das usinas térmicas movidas à biomassa entre janeiro e setembro deste ano na comparação com 2016. Essa geração no período foi de 2.865 MW médios, enquanto atingiu 2.630 MW médios no ano passado, de um total de 267 plantas instaladas em funcionamento e cadastradas na CCEE, frente às 246 instalações registradas no mesmo período de 2016. Afirma ainda que, a capacidade instalada das plantas movidas à biomassa no Sistema Interligado Nacional - SIN evoluiu, chegando a 12,5 GW ao final de setembro, o número é 11,8% superior ao registrado no mesmo período de 2016, quando a capacidade da fonte era de 11,6 GW (CCEE, 2017).

Durães et. al. (2012), sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench é uma forrageira que apresenta características físico-químicas e agrônômicas semelhantes à cana, destacando-se como uma alternativa muito promissora para o mercado, tanto o sorgo sacarino para produção de etanol, quanto o biomassa para combustão direta em substituição ao bagaço de cana, onde os seus cultivos podem ser realizados nos meses de novembro a março, ideal para inserção de forma complementar a necessidade de matéria prima durante o período de sazonalidade (janeiro a abril), favorecendo o corte da cana-de-

açúcar após a sua maturação completa, a manutenção dos estoques de bagaço de cana, aumentando os rendimentos industriais e a geração de bioeletricidade.

Existe uma variabilidade entre os tipos, apresentando 5 tipos diferentes, que podem ser utilizados para a produção de grãos (sorgo granífero), para a produção de massa para ensilagem (sorgo forrageiro), para a produção de biomassa (sorgo lignocelulósico ou sorgo biomassa), para a produção de etanol (sorgo sacarino) e até para a produção de vassouras (sorgo vassoura). Tornando-o versátil, capaz de atender os interesses e necessidades dos diversos segmentos do agronegócio em todo o mundo (MAY et. al, 2013). A planta apresenta uma grande capacidade de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas e pode ser totalmente mecanizável, tem ciclo curto, baixo custo de produção e uma biomassa com baixo teor umidade e alto poder calorífico em caldeiras (CASTRO, 2014).

Segundo o USDA, mostram os resultados do ano safra 2016/17, uma produção mundial de sorgo da ordem de 64,11 milhões de toneladas, o que significa um incremento de 7,01%, em relação ao ano anterior – 2015/16 – (59,91 milhões de toneladas). Essa produção de sorgo de 64,11 milhões de toneladas, somados aos estoques iniciais e as importações, resultaram em uma oferta mundial de sorgo em 2018 da ordem de 76.658 milhões de toneladas, dos quais serão destinados a produção de alimentos, álcool e uso industrial 27.784, indústria de rações 35.857, consumo humano 11.254 e exportações 8.140 milhões de toneladas.

De acordo Conab (2018) a cultura do sorgo na safra 2017/18 terá uma área plantada de 656,7 mil hectares e uma produção 1,862 milhão de toneladas, maior parte dessa área é utilizada em sucessão de culturas na segunda safra, na safra 2017/18 a área de sorgo 27,6 mil hectares e uma produção 44,2 mil toneladas. O Tocantins possui uma fronteira agrícola em franca expansão, com condições edafoclimáticas favoráveis e altas taxas de luminosidades durante todo ano e um passivo de área de 7,5 milhões de hectares de pastagens degradadas e ou fase de degradação, que podem inseridos dentro dos sistemas produtivos evitando abertura de novas áreas.

Santos et. al., (2013) ressalta ainda que embora a cultura do sorgo apresente todo o potencial para produção de bioenergia, é necessário atentar para algumas questões relevantes como aumentar a eficiência dos sistemas de

produção nos cultivos e nas biorrefinarias. Outro questionamento relacionado aos biocombustíveis diz respeito ao balanço energético, uma vez que a produção de matéria-prima emprega grande quantidade de energia e insumos.

De acordo Parrella et. al., (2015), o sorgo sacarino *Sorghum bicolor* (L.) Moench, apresentam características essenciais e o alto potencial produtivo, atinge um porte de 3,0 m a 3,5 m de altura e uma produção de massa verde de 50 t/ha a 80 t/ha, num ciclo de 120 dias em média. A maior parte da massa verde produzida é constituída dos colmos, que é de 70% a 80%. Os seus colmos são suculentos com grande quantidade de caldo, que apresentam na sua composição açúcares fermentescíveis, a sacarose (8% a 13%), a glicose (0,5% a 2,0%) e a frutose (0,5% a 1,5%), que pode chegar a concentrações superiores a 160 g/L, dependendo das condições ambientais, época de colheita e da cultivar utilizada. O °Brix pode variar entre 12 °Brix e 22 °Brix dependendo da cultivar, da época de colheita dos colmos e do sistema de produção.

O programa de melhoramento genético de *Sorghum bicolor* (L.) Moench da Embrapa, o desenvolvimento de variedades e/ou híbridos de sorgo sacarino com as seguintes metas de produtividade e qualidade: uma produtividade de biomassa entre 50 a 60 t/ha; resultando em uma produção de etanol de 3500 l/ha, cerca de 70 litros de etanol por tonelada de biomassa de produzida, extração mínima de açúcar total de 120 kg/t biomassa, considerando a eficiência de extração de 90 a 95%; conteúdo mínimo de açúcares redutores totais (ART) no caldo de 15%. Período de Utilização Industrial (PUI) mínimo de 30 dias (DURÃES et. al., 2012).

A expectativa positiva em relação ao potencial da cultura de sorgo é manifestada pelo interesse das empresas privadas produtoras de sementes em parcerias com as usinas sucroenergéticas, para inserção dessas cultivares durante o período de entressafra da cana de açúcar. A capacidade do sorgo sacarino em suprir as usinas de produção de etanol com matéria-prima até a retomada do ciclo da cana-de-açúcar, bem como gerar bagaço para geração e exportação de energia elétrica para a rede (CANAL RURAL, 2015).

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar as características agronômicas e o potencial bioenergético das cultivares de sorgo sacarino e biomassa, em área de cerrado na região central do Estado do Tocantins.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliação fenológica das diferentes cultivares de sorgo sacarino e biomassa;
- Estimar da produção de etanol das diferentes de cultivares de sorgo sacarino e biomassa;
- Estimar o potencial de geração de calor das diferentes cultivares de sorgo sacarino e biomassa.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA**

#### **3.1 Oferta interna de energia provida da biomassa**

Segundo o BEN (2017), a oferta interna de energias renováveis é de 43,5%, sendo a biomassa da cana de açúcar 17,5% seguido hidráulica 12,6%, madeira e carvão 8,0% e lixo e outras fontes renováveis 5,4%. De acordo com o SIN;ÚNICA (2016) a bioeletricidade obtida pela biomassa gerou quase 24 mil GWh, um crescimento de 6% em relação à oferta em 2015. A biomassa da cana significou 89% da geração total pela bioeletricidade, SIN (2016).

A estimativa da safra de cana-de-açúcar 2017/18 é de uma produção de 633,23 milhões de toneladas, de uma área a ser colhida de 8.973,2 mil hectares, redução de 3,6%, se comparado com a safra 2016/17, mesmo com este cenário, a produção de etanol manteve-se estável, com 27,76 bilhões de litros e redução de 0,2% (CONAB, 2018). Segundo a ÚNICA - União da Indústria de cana - de - açúcar (2015), das 427 usinas produtoras de açúcar e álcool existentes no Brasil, 133 unidades de 15 diferentes estados brasileiros comercializam eletricidade. Neste ano, a bioeletricidade sucroenergética fornecida ao SIN foi de 16.701 GWh, representando 82% do total gerado para o SIN pela biomassa em geral (20.342 GWh), Única (2018).

#### **3.2 Caracterização do Sorgo**

O sorgo sacarino *Sorghum bicolor* (L.) Moench, é originário do Sudão, é uma planta rústica, com características desejáveis e aptidão para cultivo em áreas tropicais, subtropicais e temperadas (EMYGDIO et. al., 2014). Tem ciclo curto 90 a 130 dias, é uma espécie de gramínea (Poaceae), uma planta de metabolismo do tipo C4, de dias curtos e alta conversão de energia solar em energia química.

Segundo Batista (2016), o sorgo possui raízes adventícias, com profundidade de enraizamento podendo chegar a 1,30m com 80% das raízes distribuídas nos primeiros 30 cm de profundidade. Prazad et. al., (2007) o sistema radicular profundo e ramificado, torna-o mais eficiente na extração de água do solo. As raízes possuem sílica na endoderme, grande quantidade de pêlos absorventes, altos índices de lignificação de periciclo. O caule é do tipo colmo, dividido em nós, que dependendo do sorgo, podem variar entre 7 e 24.

A altura é determinada pela quantidade de nós que apresentam o colmo e pelo tamanho dos entrenós.

Nos tipos comerciais a altura da planta varia de 1,20 m (granífero) até 5,30 m (biomassa). As folhas do sorgo possuem depósito de substância cerosa na junção da bainha com o limbo, que reduz a perda de água na transpiração. O fruto do sorgo é do tipo cariopse ou grão seco que é constituído principalmente de amido (65%) e seu teor de açúcar é formado principalmente de sacarose e a quantidade de proteína varia de acordo com o cultivar, podendo atingir até 18% em alguns tipos.

Segundo Emygdio (2010); Castro (2014), mostram as necessidades de água pela cultura do sorgo por ciclo de produção, chegando o consumo de água ser de 25% em relação a cana-de-açúcar (*Saccharum*spp), e quando comparado ao milho (*Zeamays* L.), consome 30-50% menos água, apresenta ampla adaptabilidade, resistência a solos salinos-alcalinos e resistência ao encharcamento .

Segundo Batista (2016); Emygdio, (2010) o Sorgo expressa o seu desenvolvimento em temperaturas variando entre 16 e 38°C e abrangência geográfica (latitude) 52° N a 40° S 30° N a 35° S.

### 3.2.1 Zoneamento agroclimático do sorgo sacarino

Landau; Schaffert (2011), identificaram as áreas potencialmente aptas para produção de sorgo, visando aumentar a oferta de matéria-prima durante no período de entressafra da cana de açúcar no Brasil. Os estudos foram baseados a partir do zoneamento agroecológico da cana de açúcar e dos mapas resultantes dos municípios aptos para plantio de milho de ciclo normal. Esses estudos resultaram em um mapa com três as classes de aptidão para o plantio do sorgo sacarino: alta, média e baixa. Segundo o zoneamento agroclimático os Estados de Goiás e Tocantins dispõe na sua totalidade áreas aptidão intermediária (classe média), os municípios com aptidão alta estão concentrados na região sudeste e centroeste.

### 3.2.2 Sorgo sacarino

O sorgo sacarino oferece uma série de vantagens competitivas: rapidez no ciclo (quatro meses), cultura totalmente mecanizável (plantio por sementes,

colheita mecânica), colmos suculentos com açúcares diretamente fermentáveis (produção de 40 a 60 t.ha<sup>-1</sup>), utilização do bagaço como fonte de energia para industrialização, cogeração de eletricidade, etanol de segunda geração ou forragem para animais, contribuindo para um balanço energético favorável, cultura tolerante à seca e baixa fertilidade. E ainda, o Brasil oferece condições climáticas adequadas para permitir a obtenção de duas colheitas por ano e até três colheitas em regiões quentes e sob irrigação, tornando a cultura competitiva mesmo com a cana-de-açúcar na produção total de álcool/ha/ano (PARRELLA et. al., 2010). Sendo ideal para introdução no sistema produtivo das usinas sucroalcooleira como complemento na produção de etanol durante o período de entressafra da cana-de-açúcar, ou quando a cana-de-açúcar ainda se encontra em estado de desenvolvimento vegetativo e possui pouca concentração de açúcares, permitindo ampliar o período de uso das usinas de etanol em três meses. (SOUZA et. al., 2005).

Tabela 2: Composição da planta de sorgo sacarino e da cana de açúcar.

<b>Características</b>	<b>Sorgo Sacarino</b>	<b>Cana de açúcar</b>
Ciclo vegetativo	120 a 130 dias	12 a 18 meses
Rendimento (t/ha)	48,0	65,0
Umidade (%)	67,9	68,7
Açúcares redutores (%)	5,6	3,0
Açúcares red. totais(ART/t)	96,3	105,0
Álcool a 100° GL (L/t)	62,4	67,9

**Fonte:** Cunha; Severo Filho (2010),

Outras características importantes do sorgo sacarino é a geração dos coprodutos durante a colheita e moagem dos colmos. Os grãos e o próprio bagaço extraídos desse processo apresentam um valor nutricional importante, fundamental na manutenção e ganho de peso dos animais, promovendo a diversificação da produção. Vale salientar que seus grãos também podem ser utilizados para a produção de etanol, utilizando hidrólise enzimática e a biomassa excedente gerada pode ser empregada tanto na cogeração de energia,

como na denominada segunda geração de biocombustíveis (FERNANDES et. al., 2014).

### 3.2.3 Sorgo biomassa

Segundo May et. al., (2013) o sorgo biomassa possui ciclo curto (cerca de 150 a 180 dias), é propagado por sementes e permite total mecanização de seus processos de produção, corte, carregamento e transporte.

RABELO et. al., (2014) enfatiza o trabalho da Embrapa Milho e Sorgo, no desenvolvimento de híbridos de sorgo biomassa, sensíveis ao fotoperíodo, com potencial produtivo e ciclo vegetativo de até 6 meses. Esses cultivares sensíveis, permanecem com a gema apical em dormência até que os dias encurtem o bastante para iniciar o desenvolvimento da gema floral, chamado de fotoperíodo crítico. De acordo com Parrella et.al. (2014) esse material pode ser semeado nos meses de outubro a dezembro, quando o fotoperíodo é maior que 12 horas e 20 minutos, o desenvolvimento da gema floral apenas iniciará a partir de 21 de março do ano seguinte, ampliando o ciclo vegetativo e o porte e, concomitantemente, possibilitando maior produção de biomassa por hectare/ciclo em comparação a cultivares insensíveis ao fotoperíodo, que florescem em qualquer época do ano e com ciclo curto.

A porcentagem de matéria seca (MS) na biomassa de sorgo varia com o genótipo e a época de colheita, variando de 35 a 55%. O teor de fibra do sorgo biomassa, obtido pelo peso do bolo úmido (PBU) resultante da prensagem, desfibrado e homogeneizado, está variando entre 22 e 30%, e os maiores teores são obtidos na colheita após a maturação fisiológica do grão. Os resultados principais carboidratos estruturais celulose, hemicelulose e lignina demonstram uma variação na porcentagem de lignina de 5 a 10%, porcentagem de hemicelulose de 15 a 25% e porcentagem de celulose de 35 a 45%, em base seca. Os resultados obtidos do poder calorífico superior e inferior da biomassa deste sorgo, em base seca, tem se verificado em torno de 4.300 Kcal/kg de MS e 3.800 Kcal/kg de MS, respectivamente (May et. al., 2013).

Segundo a Embrapa (2014) dos materiais genéticos pesquisados, validados e disponibilizados no mercado, o sorgo biomassa destaca-se, pela alta produção de massa verde, com elevado teor de fibra e grande porte, sendo um fornecedor de energia em potencial (poder calorífico superior – PCS chega

a 4.000 kcal/kg de matéria seca) e etanol de 2ª geração. Uma outra vantagem comparativa frente a cana-de-açúcar, é que o sorgo biomassa pode atingir 50% de umidade ainda no campo, ponto em que essa biomassa pode ser colhida e levada à caldeira para combustão ou armazenada. Já a cana, demanda medidas para estocagem e tratamento do bagaço, (ÚNICA, 2014).

### 3.2.4 Utilização do sorgo na produção de etanol

A cultura do sorgo (granífero, açucarado/sacarino ou biomassa-energia) terá expansão assegurada em áreas canavieiras e não canavieiras de diversas regiões do Brasil. Projetando-se numa perspectiva de garantir a sustentabilidade bioenergética a partir da diversificação de matérias primas, ocupando principalmente as janelas da entre safra da cana-de-açúcar (EMYGDIO, 2010).

Segundo Durães et. al., (2012) a safra 2011/12 (nov-dez/mar-abr) foram plantados no país cerca de 20 mil hectares de sorgo sacarino, com rendimentos variáveis de 40 a 65 toneladas de biomassa e rendimento de 2,0 a 3,0 mil litros de etanol/ha.

Os colmos de sorgo sacarino produzem um caldo açucarado quando moído, com um conteúdo de sacarose um pouco inferior ao caldo de cana, que pode, por sua vez, ser submetido a um processo industrial similar para obtenção de bioetanol, (CUNHA; SEVERO FILHO, 2010). Passando a fazer parte das demandas de biomassas das indústrias, podendo ser empregada como biomassa principal ou complementar aos processos. Segundo Parrella et. al., (2010), o material apresenta uma concentração de açúcares fermentáveis nos colmos, similar à cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*).

#### 3.2.4.1 Etanol de sorgo de primeira geração

A obtenção do etanol de primeira geração consiste por meio do processo de fermentação de açúcares fermentescíveis presentes diretamente no colmo da planta, utilizando fundamentalmente enzimas responsáveis pela hidrólise da sacarose (NAIK et. al., 2010).

Segundo Gomes; Rodrigues; Oliveira (2011) vários estudos mostram que os principais açúcares livres no caldo de sorgo sacarino são: glicose, sacarose e frutose. Possui também maior teor de açúcares redutores em

comparação com caldo de cana, entretanto estudos apontam que não há diferença significativa entre a quantidade total de açúcares solúveis. Desta forma, os métodos analíticos e os parâmetros utilizados para o estabelecimento de indicadores de controle de qualidade, podem ser os mesmos utilizados para a cana-de-açúcar, entre eles: sólidos solúveis (Brix em %), sacarose (Pol do caldo em %), fibra industrial na cana (%), pureza do caldo (%), porcentagem bruta de açúcar (PCC), pH.

#### 3.2.4.2 Etanol celulósico ou de segunda geração

Segundo Gomes; Rodrigues; Oliveira (2011) as mesmas metodologias empregadas para avaliar a cana-de-açúcar pode-se estender para o etanol de sorgo sacarino de segunda geração. Os métodos analíticos para avaliação de biomassa lignocelulósica devem possibilitar a quantificação dos açúcares estruturais provenientes da celulose e hemicelulose.

Segundo Lima (2011) os principais entraves para viabilização da tecnologia do etanol lignocelulósico a partir do processo bioquímico são o alto custo das enzimas, a baixa produtividade, o baixo rendimento e a dificuldade de scale up da etapa de hidrólise. Para o processo termoquímico as dificuldades são o alto custo dos catalisadores e questões de escala. Desta forma, é importante a análise técnico-econômica para observação da viabilidade dessas tecnologias em diversos cenários;

As principais tecnologias em estudo para a produção de etanol de segunda geração são: a hidrólise seguida de fermentação e a gaseificação de materiais lignocelulósicos (ROSA e GARCIA, 2009). A hidrólise pode ser realizada por processos ácidos, com solventes orgânicos ou enzimas. A hidrólise ácida utiliza ácido sulfúrico, clorídrico ou nítrico concentrados ou diluídos. Quando se utiliza solventes orgânicos, uma mistura de solvente orgânico (metanol, etanol ou acetona) com um catalisador ácido (ácido sulfúrico ou clorídrico) é usada para quebrar as ligações internas da lignina e hemicelulose. A hidrólise enzimática (sacarificação) consiste na quebra destas ligações utilizando-se enzimas. A gaseificação consiste na conversão em altas temperaturas da biomassa em gases (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO e vapor d'água). O processo permite geração de eletricidade em ciclo combinado e a produção de combustíveis líquidos.

### 3.2.4.3 Fatores que influenciam o rendimento de etanol

Monteiro (2011), afirma que a composição da matéria-prima afeta diretamente o rendimento da produção de etanol. Nesse caso, o fator mais importante é a quantidade e composição de açúcares no caldo. Experimentos realizados pela Embrapa Milho e Sorgo, demonstraram materiais com teor de açúcares solúveis entre 15 e 21%, concentrações muito próximas à cana-de-açúcar. Porém uma diferença importante está na composição desses açúcares no caldo. Na cana, estes são majoritariamente sacarose, no sorgo sacarino há uma concentração relativamente alta de açúcares redutores – glicose e frutose. Essa diferença afeta o processo de duas formas:

1 – Na produção de açúcar, o sorgo sacarino teria um rendimento menor do que a cana, ou seja, essa matéria-prima deverá ser usada especialmente para a produção de etanol;

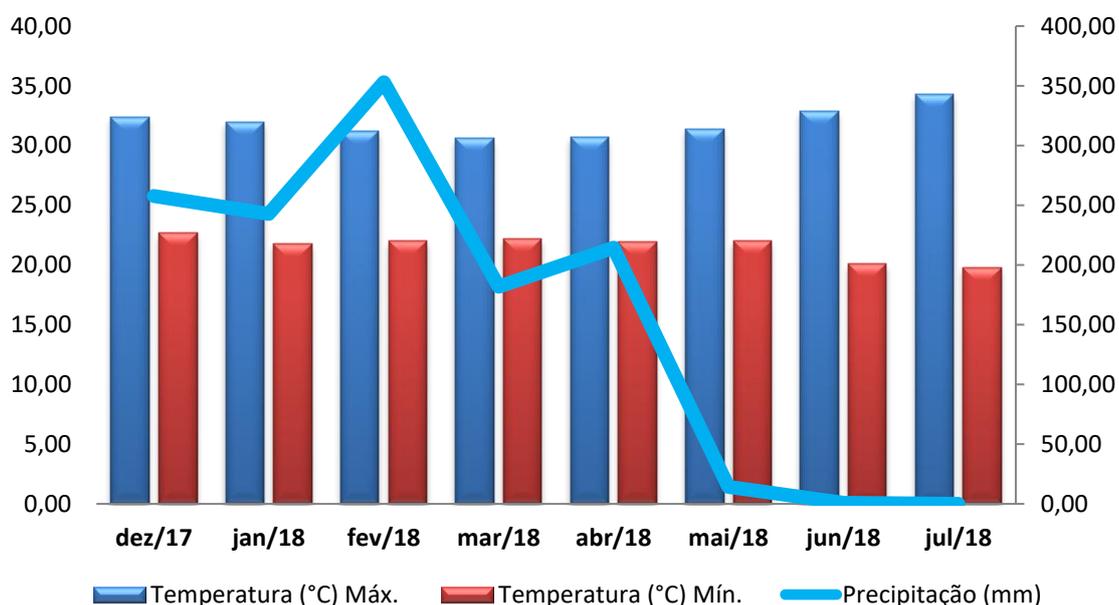
2 – Na produção de etanol, possivelmente haverá maior risco de contaminação, uma vez que as bactérias contaminantes do meio normalmente fermentam prioritariamente a glicose. Portanto, na produção de sorgo sacarino possivelmente serão necessários cuidados adicionais com a contaminação do meio.

## 4. MATERIAL E MÉTODO

### 4.1 Local e condições climáticas

O experimento foi instalado em uma área de 997,12 m<sup>2</sup>, localizada no Centro Agrotecnológico, no município de Palmas (TO), com coordenadas (8849507,53 N / 787866,55 ML), a 292m de altitude, temperatura mínima e máxima variando de 24,7 a 29,3 e precipitação anual de 1760 mm.

Gráfico 01 – Monitoramento agroclimático de Palmas – TO entre o período de dezembro de 2017 e julho de 2018



Fonte: INMET, 2018

A Figura 02 mostra o local onde se desenvolveu a pesquisa no período de dezembro de 2017 a maio de 2018, em um solo classificado como latossolo vermelho-amarelo eutrófico (EMBRAPA 2013).

### 4.2 Preparo do solo

#### 4.2.1 Coleta e análise do solo

As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0-20 cm, encaminhadas ao laboratório para a determinação das características físicas e químicas do solo, seguindo procedimento proposto por Sousa; Lobato (2004). Os resultados foram os seguintes: Textura (%) argila 36,00, limo 2,10 e 61,90 areia, o pH (cacl<sub>2</sub>) = 4,4; matéria orgânica = 10,00 g dm<sup>-3</sup>; P (Mehlich-1) =

$3,6 \text{ mg/dm}^{-3}$ (ppm) ;  $\text{K}^+$  ( $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ ) =  $0,26 \text{ cmolc dm}^{-3}$  (ppm) ;  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ ) =  $1,60 \text{ cmolc dm}^{-3}$  ;  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ ) =  $0,70 \text{ cmolc dm}^{-3}$  ;  $\text{Al} = 0,20$  e  $\text{H}^+\text{Al}$  ( $\text{Ca}(\text{OAc})_2 \text{ } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) =  $2,10 \text{ cmolc dm}^{-3}$  . A saturação por base (V%) =  $54,94\%$ , e saturação por Al (m%) =  $7,25$  respectivamente.

Figura 01 – Vista da após o preparo do solo



Fonte: Próprio autor

#### 4.2.2 Correção e adubação do solo

De acordo com resultados da análise de solo, verificou-se a necessidade de corrigir a acidez do solo, utilizando  $1 \text{ ton. ha}^{-1}$ . Para adubação de base, houve necessidade de elevar os níveis de fósforo de  $3,6\text{mg/dm}^3$  para  $10\text{mg/dm}^3$ , usando  $355 \text{ kg}$  de superfosfato simples por  $\text{ha}^{-1}$ (ALVAREZ V.; RIBEIRO et. al., 1999). A adubação de plantio foi realizada diretamente no sulco utilizando  $385 \text{ kg}$  por  $\text{ha}^{-1}$  de N P K da formula 5-25-15, sendo  $50 \text{ g}$  por metro linear, a  $5 \text{ cm}$  de profundidade.

#### 4.2.3 Plantio dos cultivares de sorgo

O plantio foi realizado dia 04 de dezembro de 2017, visando atender as condições agroclimáticas da cultura, utilizando uma semeadeira manual para grãos da marca Knapik. Foi utilizado sementes de sorgo biomassa e sacarino disponibilizadas pelas empresas: Embrapa Milho e Sorgo situada em Sete Lagoas - MG e Nexsteppe Sementes do Brasil situada em Campinas - SP.

As parcelas possuem foram semeadas seguindo o croqui de acordo com delineamento experimental, utilizando uma quantidade aproximada 22 sementes por metro linear na parcela, distribuídas uniformemente a uma profundidade de 3 a 4 cm. Após 15 dias a germinação, foi realizado desbaste

deixando entre 9 e 12 plantas por metro linear, o que resultou em uma densidade média que variou de 134.000 a 166.000 plantas/ha.

Figura 02 – Vista da parcela logo o plantio



Fonte: Próprio autor

Aos 25 dias após o plantio, estágio em que as plantas estavam com 4 a 6 folhas desenvolvidas, foi realizado a adubação de cobertura utilizando 600 Kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 140 Kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio KCL, distribuídos 96 g da mistura na superfície nas linhas de plantio. As cultivares receberam irrigações nos primeiros 15 dias até entrada do período chuvoso e irrigações suplementares nos meses de janeiro, fevereiro em função dos pequenos veranicos. Os tratos culturais foram os normalmente utilizados para controlar as ervas daninhas, a partir do controle químico utilizando Atrazina na dose de 4 L/ha e capina manual com enxada aos 28 dias após o plantio.

### **4.3 Parâmetros avaliados**

#### **4.3.1 Avaliação fenológica das cultivares de sorgo**

Os parâmetros agronômicos foram avaliados no decorrer do ciclo da cultura de acordo com o desenvolvimento e maturidade fisiológica dos grãos de cada uma das cultivares. De acordo com cada um dos parâmetros foram amostrados entre 9 e 12 plantas, colhidas de forma aleatória, dentro da área útil da parcela, seguindo os critérios de avaliação proposto na metodologia descrita:

- A porcentagem de emergência das diferentes cultivares de sorgo, avaliadas e determinadas dentro da área útil da parcela, observando o número de plântulas viáveis após a emergência das sementes;
- Altura de planta (AP), a leitura foi realizada um dia antes da colheita, com auxílio de uma régua topográfica (4m) e trena de mão de 3m, para se obter a altura média das plantas, sendo três leituras por linha, ou seja, 12 leituras por parcelas, medida da superfície do solo ao ápice da panícula.
- Produção de matéria verde (PMV) das diferentes cultivares de sorgo- A determinação do peso de massa verde será feita com a pesagem de todas as plantas cortadas da área útil de cada parcela, em balança manual, e transformado o peso em t ha<sup>-1</sup>, sem a panícula.
- Matéria Seca (MS): Na avaliação de matéria seca expressa em t ha<sup>-1</sup> serão separadas aleatoriamente cinco plantas colhidas da área útil e desfibradas em máquina forrageira retirando-se 400gr para secagem em estufa de ventilação forçada por um período de 72 horas a uma temperatura de 65 ° C.
- Rendimento do percentual da Planta (caule, folhas verde e folha seca) dos diferentes cultivares de sorgo – o corte será realizado à 10 cm acima da superfície do solo de forma aleatória, medindo de 1m<sup>2</sup> da parte central da parcela, determinando através da pesagem em (Kg), logo após separado as partes da planta (% PP).
- Florescimento (F) das diferentes cultivares de sorgo - número de dias da semeadura até o início da liberação de pólen em 50% das plantas da parcela;

#### 4.3.2 Avaliação da produção de caldo do sorgo

Após maturação fisiológica dos grãos aos 96 dias pós do plantio as, cultivares BRS 511, Malibu sorgo do tipo sacarino e Palo Alto sorgo do tipo biomassa foram submetidos avaliações das características agroindustriais. Aos 138 dias houve a avaliação do cultivar BRS716 (sorgo biomassa) por apresentar um ciclo mais tardio em relação aos demais. No momento da colheita este material apresentou significativa produção de caldo e, portanto, optou-se por avaliar esta característica. A colheita foi realizada manualmente

com o corte de três plantas na altura de 10 cm acima do solo e no centro da parcela; após o corte os colmos foram submetidos a uma limpeza sendo retiradas as folhas e as panículas, em seguida são pesados numa balança digital - filizola, levados a uma moenda tradicional do tipo B722 - Maqtron, para extração do caldo. Na moenda os colmos de um terço, foram passadas duas vezes para extração máxima do caldo, utilizando-se uma peneira para eliminar as impurezas, após avaliou-se o volume através de uma proveta graduada de 1000 ml e posteriormente pesados em balança digital, para avaliação do rendimento l / ha. Foram retiradas amostras de cada uma das cultivares, filtradas colocando-as em tubo de ensaio graduado com tampa de 50 ml e congelado em freezer na temperatura de  $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ ;

Figura 03 – Avaliação da produção de caldo de sorgo



**A** = processo de extração do caldo, **B** = pesagem do caldo, **C**= Amostra do caldo

Fonte: Próprio autor

#### 4.3.3 Determinação do °Brix

As amostras foram retiradas do freezer e descongeladas até atingir  $20^\circ\text{C}$ , em seguida o caldo foi filtrado em papel qualitativo e submetido análise do teor de sólidos solúveis (Brix), foi determinado com Refratômetro Digital Portátil de Bancada (0 a  $45^\circ\text{Brix}$ ), BRX RI - CHEK Reichert. Technologies a partir da sexta gota, acordo com método proposto pela AOAC (1990).

#### 4.3.4 Determinação do pH

As avaliações do pH do caldo do sorgo foram feitas com as amostras em temperatura ambiente  $28^\circ\text{C}$ . As leituras foram realizadas utilizando um medidor de pH digital portátil Tester HI 90103 - Hanna Instruments Checker®, após a sua aferição.

#### 4.3.5 Estimativa da produção de Etanol

Os cálculos dos sólidos solúveis totais (Brix) seguiu a metodologia descrita por Finguerut (1985). Assim, a estimativa da produção de etanol foi obtida aplicando - se a seguinte fórmula:

$$\text{Etanol (l/ ha}^{-1}\text{)} = (\text{BRIX (\%)} \cdot \text{VC (l/ ha}^{-1}\text{)} \cdot \text{RE (\%)} / \text{D} \quad \text{Eq (01)}$$

Onde:

VC = Volume de Caldo;

RE = Rendimento de etanol = 0,4649 / kg de açúcares totais;

D = Densidade do etanol = 0,789;

### 4.4 Características químicas e energéticas

#### 4.4.1 Preparo da biomassa

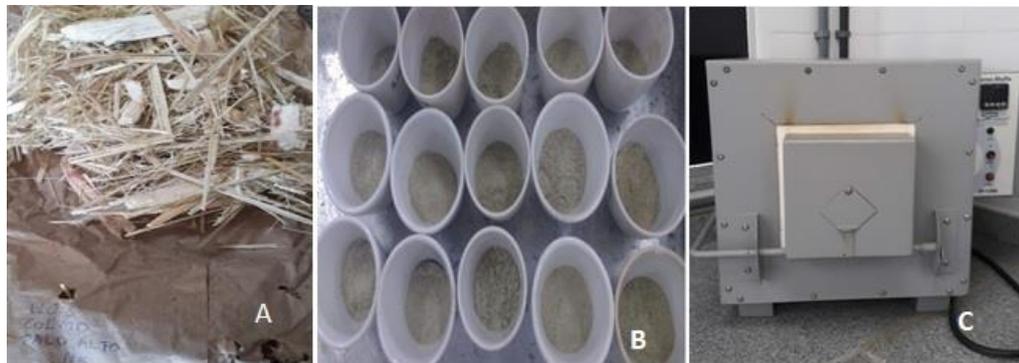
As plantas após avaliação agrônômica, foram trituradas em um Triturador de forragem Tr200 1,5 Cv Trapp, dessa biomassa coletou -se amostras de 400gr colocando - as em saco de papel tipo kraft e levadas para secagem em estufa de ventilação forçada por um período de 72 horas a uma temperatura de 65 ° C, após a secagem o material foi novamente pesado numa balança digital para as avaliações do teor de MS e Umidade. O material recebeu uma padronização das partículas a partir do uso de liquidificador 800w, o que facilitou o manuseio, reduzindo significativamente o tempo de preparo das amostras. De imediato as amostras foram levadas ao moinho do tipo “Willye” cujas peneiras tinham 1mm, onde procedeu-se à moagem das mesmas para a redução do tamanho das partículas e padronização da superfície específica e acondicionadas em embalagens de plástico transparentes, etiquetadas conforme a ordem no bloco e armazenadas.

#### 4.4.2 Determinação das cinzas

Para a determinação de cinzas, utilizou - se uma balança analítica, inicialmente aferiu - se o peso dos cadinhos de porcelana registrando numa tabela, em seguida pesou-se 2g da amostra e submeteu -se ao aquecimento em uma mufla à temperatura de 575 ± 25°C por cinco horas. Após resfriamento dos cadinhos a temperatura ambiente registrou- se o peso final das amostras. O

resultado do teor de cinzas é dado ao peso final da amostra carbonizada menos peso da amostra inicial.

Figura 04 – Determinação de cinzas



A = planta triturada, B = cadinho com amostra (02 g), C= queima da planta (mufla)

Fonte: Próprio autor

#### 4.4.3 Determinação do poder calorífico superior (PCS)

O poder calorífico de um determinado combustível é a máxima quantidade de energia possível de ser liberada da queima completa de uma unidade de massa dessa substância (CBE, 2008).

Neste ensaio o poder calorífico foi determinado de forma indireta, calculando - se a densidade de energia bruta do material como a correspondente do poder calorífico superior (PCS). O poder calorífico de um combustível indica a densidade energética do mesmo (UNE – EM 14918).

Para tanto, o cálculo da densidade energética bruta que aqui denominamos poder calorífico superior (PCS), assumiu - se a constante de 19 MJ / kg de matéria orgânica a partir da citação descrita por SUNDSTØL (1993).

Assim, o cálculo do poder calorífico superior foi obtido aplicando - se a seguinte fórmula:

$$\frac{PCS \text{ MJ}}{Kg \text{ Ms}} = \frac{19,00 \text{ MJ}}{Kg \text{ MO}} \times \text{M. O. (\%Ms)}$$

Onde:

*PCS MJ* = poder calorífico superior (mega Joule);

*MO* = peso da matéria orgânica em Kg;

*MS* = peso da massa seca em Kg.

A partir da determinação do poder calorífico superior PCS MJ/kg, é possível estimar a produção da energia potencial produzida em 1 hectare das cultivares avaliadas, sendo expressa em Giga joules (GJ), através da seguinte fórmula:

$$EP = \frac{PCS \text{ MJ}}{Kg} \times PMS \text{ (ton/ha)}$$

Onde:

*EP* = energia potencial;

*PCS MJ* = poder calorífico superior (mega Joule);

*PMS* = peso da massa seca em Kg.

#### 4.5 Delineamento estatístico e análise estatística

A Figura 03 traz a disposição do delineamento experimental utilizado em blocos inteiramente casualizados, sendo 3 blocos, 4 tratamentos e 15 repetições, compondo 60 parcelas sendo 20 por bloco. Foram avaliadas 4 cultivares de sorgo híbrido, 2 sacarinos (Malibu e BRS511) e 2 biomassa (Palo Alto e BRS716). A parcela experimental possui uma área de 9,28 m<sup>2</sup>, compostas por quatro linhas de 3,2 m de comprimento, por 2,90 m de largura e espaçamento de 0,70 m entre linha.

Figura 05 – Demarcação da área experimental (1016,5 m<sup>2</sup>)



Fonte: Próprio autor

Figura 06 – Vista do experimento após 21 dias



Fonte: Próprio autor

Figura 07 – Detalhe da parcela (2,90m x 3,20) e espaçamento entre linhas (0,70m)



Fonte: Próprio autor

O delineamento experimental para avaliar o BRIX e Ph, foi em bloco inteiramente casualizados sendo 3 blocos, 3 tratamentos e 15 repetições, compondo 45 parcelas sendo 15 por bloco. Utilizou - se um delineamento diferente para esta característica, pois uma das cultivares era desprovida totalmente de caldo como as demais, porém, não permitiu ser avaliada.

A média dos resultados das variáveis estudadas serão submetidas à análise de variância pelo teste F após a verificação da normalidade dos mesmos pelo teste Shapiro - Wilk. A comparação das médias dos tratamentos será realizada pelo teste Tukey a 5% de significância, sendo utilizado para realização dos cálculos estatísticos o programa SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011).

Figura 08 – Vista completa do experimento de sorgo sacarino e biomassa aos 43dias;



Fonte: Próprio autor

Figura 06 – Vista completa do experimento de sorgo sacarino e biomassa na fase de florescimento aos 63dias;



Fonte: Próprio autor

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

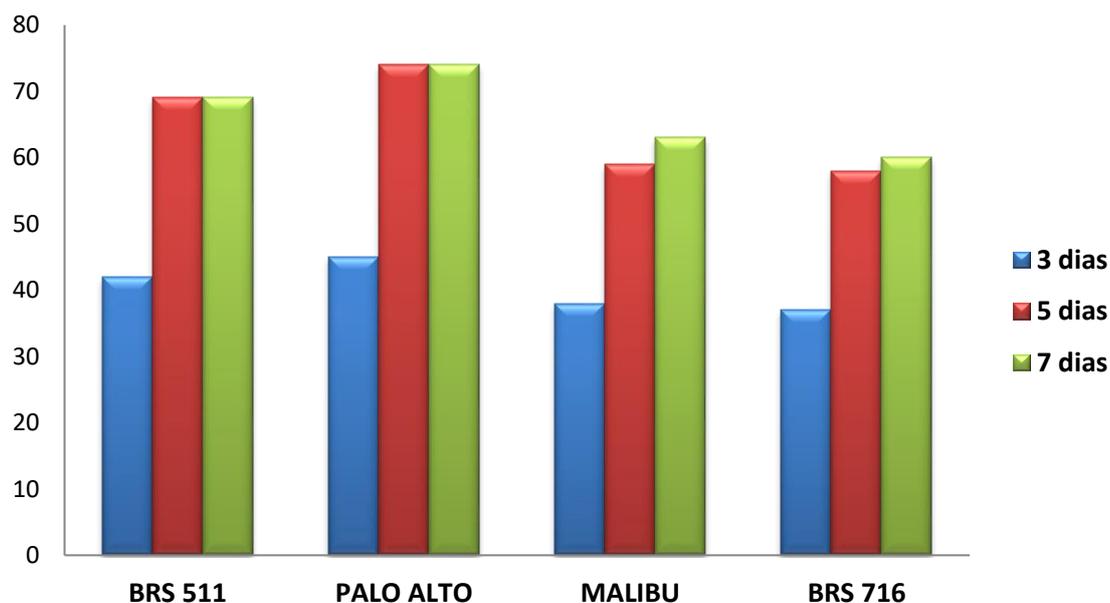
### **5.1 Avaliações fenológicas das diferentes cultivares de sorgo**

#### **5.1.1 Taxas de emergência das sementes das cultivares de sorgo sacarino e biomassa**

De acordo Gráfico 1, todas as cultivares de sorgo avaliadas apresentaram maior emergência entre o 3º e 7º dia. As cultivares de sorgo sacarino emergiram no 3º dia após a semeadura, sendo que o percentual de plântulas cv Malibu, cv BRS 511, emergiram representando 38% e 42% respectivamente. Já o sorgo biomassa, os resultados foram de 37% para o cv BRS 716 e 45% para Palo Alto. Ao 5º dia, houve evolução na taxa de emergência das plântulas passando para 58 % para o cv BRS 511, 59 %, para cv Malibu, 58 % para cv BRS 716 e 74% para cv Palo Alto respectivamente. Ao final do período aos 07 (sete) dias após a semeadura (DAS), os resultados foram os seguintes: 63% para cv Malibu e 69 % cv BRS 511, para as cultivares do tipo sacarino respectivamente e para as cultivares do tipo biomassa foram de 60 % cv BRS 716 e de 74% para cvPalo Alto respectivamente; Os genótipos avaliados cv BRS 511 e cv BRS 716 foram os que emergiram mais cedo, porém apresentaram os comportamentos vegetativos diferentes, sendo que a cv BRS 511, considera a mais precoce, com desempenho vegetativo no estágio EC I (0 - 30 DAE) de 13,67%, enquanto que a cv BRS 716 foi 10,16%, demonstrando o crescimento mais lento. Já emergência das cultivares cv Malibu e cv Palo Alto foram inferiores aos demais, porém os seus desempenhos vegetativos foram de 18,93% e 17,75% respectivamente, proporcionando o fechamento mais rápido da área parcela evitando a competitividade com as ervas daninhas. Costa (2013), desenvolveu ensaio com o sorgo forrageiro Volumax e verificou a emergência de plântula aos oito dias após a semeadura (DAS), e o primeiro estágio de desenvolvimento identificado (V1) foi caracterizado pela presença da primeira folha aberta acima do nível do solo ocorreu aos nove dias após a semeadura. R. Yagui et. al., (2006) verificaram que o tempo médio de máxima germinação para cultivares de sorgo forrageiro variou de 1,5 a 2,0 dias, quando utilizou doses crescentes de zinco via semente induzindo germinação mais rápida, o tempo médio de germinação máxima (TMGM) para os tratamentos foi de 1,8 dias e a

germinação média diária (GMD) variou entre 65,2 e 72,6 %, sendo os percentuais de germinação menores em relação ao tratamento testemunha; observou - se que aplicação de zinco nas sementes de sorgo não afeta o acúmulo de matéria seca da parte aérea, porém afetou a germinação e o acúmulo de matéria seca das raízes e da planta inteira. Segundo Gazola et al., (2013) enfatiza que a emergência mais rápida expõe por menos tempo as intempéries como o déficit hídrico ou encharcamento, temperaturas inadequadas do substrato e presença de patógenos. Bezerra (2017) obteve os valores médios de geminação para os genótipos de sorgo híbrido DKB 540,1G 245, BRS 802, BRS 330 e MR 43 variando entre 84% a 97%, acima do padrão exigido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que é de no mínimo 75% (BRASIL,2013).

Gráfico 02 – Avaliação da evolução da taxa de emergência das cultivares de sorgo sacarino e biomassa



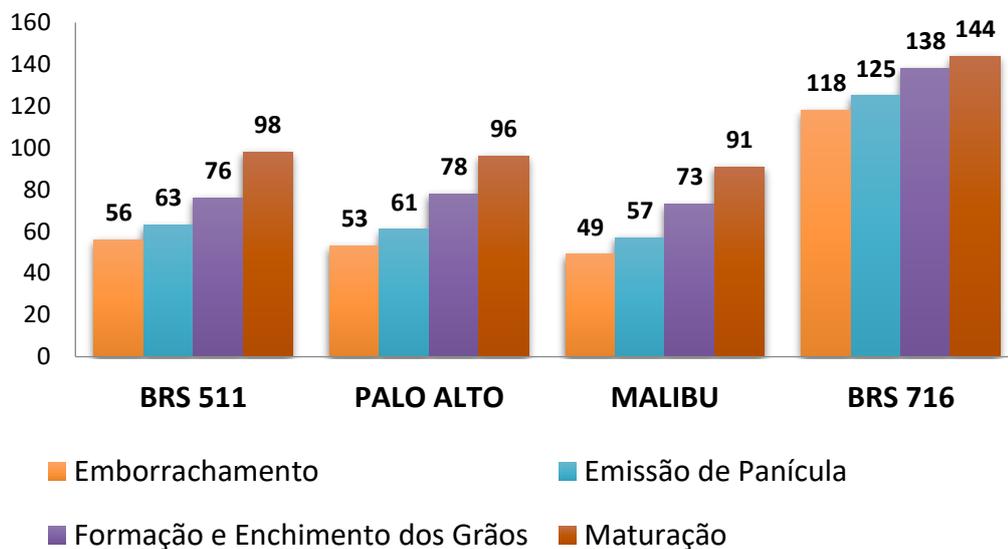
### 5.1.2 Florescimento e maturação fisiológica dos grãos

Os dados do gráfico 2, demonstraram variações entre os tipos e cultivares de sorgo, quanto ao estágio reprodutivo da cultura. O início da emissão de panícula variou entre 49 para a cultivar Malibu e 118 para a cultivar BR716 e a maturação fisiológica entre 91 e 144 dias, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por Batista (2016), em experimento desenvolvido sobre um solo do tipo Argissolo vermelho amarelo, em condições

tropicais no município de Coimbra – MG, onde obteve os resultados para a cultivar cv BRS511 com o ciclo de 114 dias; enquanto que a cultivar de sorgo biomassa cv BRS716 chegou a maturação fisiológica dos grãos aos 146 dias após emergência (DAE). As três cultivares BRS 511, Malibu e Palo Alto apresentaram fases vegetativas semelhantes, com pouca variação em dias entre uma fase e outra entre as cultivares, sendo os ciclos próximos aos cultivares de sorgo granífero e forrageiro. Parrella et. al., (2010), na região Sudeste no da safra e na safrinha na região Centro-Oeste, verificaram que o ciclo das cultivares de sorgo sacarino variou de 101 a 120 dias. Costa (2013), avaliou todos os estádios do ciclo vegetativo do sorgo Volumax, registrando a ocorrência da maturidade fisiológica dos grãos aos 106 dias após a emergência. Cardozo et. al., (2018), avaliaram o ciclo produtivo dos diferentes genótipos de sorgo forrageiro, observando desde o plantio até a colheita determinando o ponto ideal para confecção de silagem e constataram que os que se mostraram mais precoces, necessitaram de 118 a 127 dias (DAS) e os mais tardios, de 129 a 135 dias (DAS).

A cultivar BRS 716 demonstrou-se mais tardia concluindo a maturação dos grãos aos 144 dias. A média de dias entre as cultivares mais precoces para início de florescimento foi de 56,33 dias e para início de enchimento dos grãos foi de 75,66 dias. A cultivar BRS 716 por sua vez, iniciou o aparecimento de panícula aos 125 dias e o início de enchimento dos grãos por volta de 138 dias. Lanza (2017), avaliou o ciclo vegetativo da cultivar cv BRS 716 aos 151 dias (DAS), com ocorrência do florescimento aos 123 dias (DAS).

Gráfico 03 – Estádio reprodutivo dos cultivares de sorgo sacarino e biomassa



May et. al., (2013), avaliaram 20 híbridos de sorgo biomassa (CMSXS7000 a CMSXS7019), três variedades de sorgo biomassa (CMSXS7020, CMSXS651 e CMSXS652), em ensaios implantados em São Paulo e Minas Gerais e verificaram que o número médio de dias para florescimento por local foi de 100 dias em Capivari-SP, 112 dias em Piracicaba-SP, 136 dias em Nova Porteirinha-MG até 148 dias em Sete Lagoas-MG. Damaceno et. al., (2013), avaliaram genótipos de sorgo sacarino e biomassa e verificaram os florescimentos dos mesmos entre 61 a 88 dias após emergência. Castro et. al., (2014), observaram o caráter florescimento de quatro grupos de genótipos, sendo que a cultivar BRS655 apresentou a menor média de dias entre a semeadura até o florescimento de 50% da parcela (83,33 dias), enquanto que os genótipos MSXS7015, CMSXS7016, CMSXS7022 e CMSXS7024 foram os mais tardios.

### 5.1.3 Resultados de produtividade das cultivares de sorgo Sacarino e biomassa

Tabela 01 – Resumo das análises de variância para o número de plantas por hectare (estande/ha), altura de plantas (m), peso por planta (kg), produção de matéria verde (ton/ha), porcentagem de matéria seca (%) e produção de matéria seca (ton/ha) de cultivares de sorgo sacarino e biomassa para a produção de etanol.

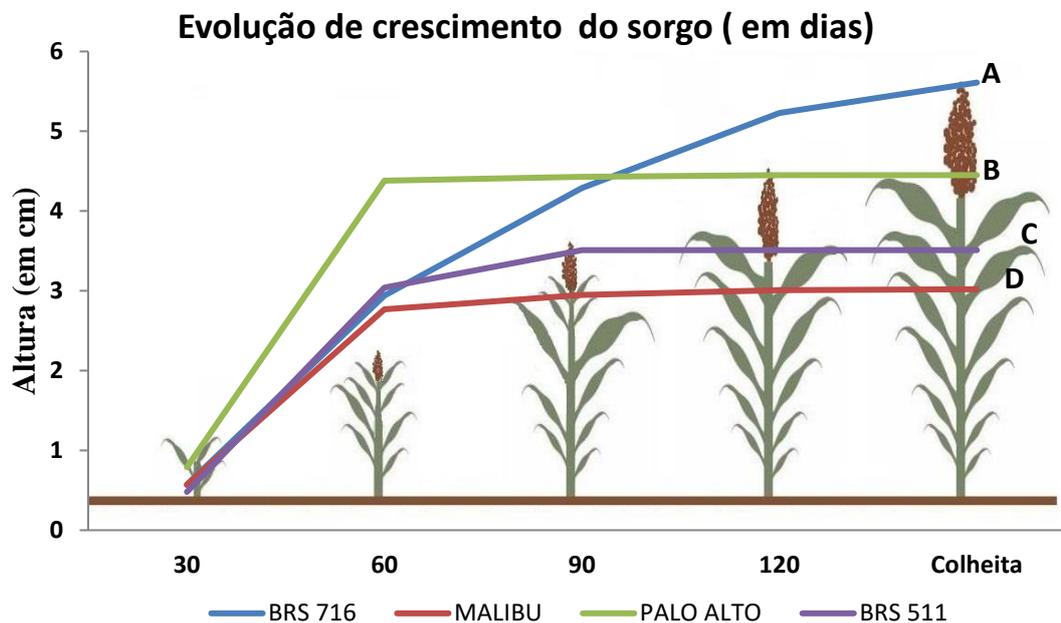
Cultivares	Estande/ha	Altura(m)	Peso/Pl (Kg)	PMV (ton/ha)	%MS	PMS (ton/ha)
<b>BRS 716</b>	145.71 A	5.61 A	1.14 A	166.34 A	40.23 A	66.96 A
<b>BRS511</b>	146.47 A	3,51 C	0.75 B	108.58 B	29.67 C	32.17 B
<b>PALO ALTO</b>	157.23 A	4.45 B	0.51 C	78.22 C	39.28 B	30.54 B
<b>MALIBU</b>	158.64 A	3.02 D	0.47 C	71.78 C	29.41 C	21.00 C
<b>CV%</b>	<b>5.68</b>	<b>2.66</b>	<b>11.04</b>	<b>11.53</b>	<b>3.74</b>	<b>11.86</b>

CV=Causa de variação (%); Kg=Quilograma;(ton./ha)=Tonelada por hectare; (%) = Porcetagem;(S) = Sacarino;(B) = Biomassa;

De acordo com os dados apresentados na tabela 1, demonstram que não houve diferença estatística significativa ( $p \geq 0,05$ ), para os estandes de plantas avaliados. May et. al., (2012) estudando os espaçamentos entrelinhas (0,5; 0,6; 0,7 e 0,8 m) e populações de plantas (80.000; 100.000; 120.000 e 140.000 plantas  $ha^{-1}$ ) verificaram a influência dos arranjos de plantas no crescimento do sorgo sacarino, resultando em maiores produtividades de caldo, em área cultivada com menores espaçamentos entrelinhas e maiores populações de plantas. Lanza (2017) realizou experimento em solo do tipo Latossolo Vermelho Distrófico, utilizando a cultivar de sorgo biomassa BRS 716 em uma população de 8 plantas  $m^{-1}$  e estande de 110.000 plantas  $ha^{-1}$ .

As demais características agrônômicas como altura de plantas (AP), peso da planta (PP), produção de massa verde (PMV), porcentagem de matéria seca (%MS) e produção de (PMS) apresentaram diferenças estatísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste Tukey, entre os genótipos e os tipos de sorgo avaliados (sacarino e biomassa. Os valores médios apresentados na Tabela 1 para alturas de plantas (AP) demonstraram que, entre as cultivares testadas a cv BRS 716 foi que apresentou maior potencial de crescimento com 5,61 m, seguido da Palo Alto com 4,45 m, BRS 511 com 3,51 m e por último a cv Malibu com o porte 3,02 m respectivamente.

Gráfico 04 – Evolução da formação estrutural da planta de acordo com os ciclos vegetativos das cultivares de sorgo sacarino e biomassa



Damasceno et. al., (2013), desenvolveram um amplo painel para a caracterização morfoagronômica e bioquímica dos genótipos de sorgo sacarino e biomassa, através de ensaios em Sete Lagoas – MG verificaram diferenças estatísticas significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre os genótipos avaliados, sendo a altura de plantas variou de 1,00 a 4,70 m. May et. al., (2013), apresentam os resultados obtidos a partir da avaliação de híbridos e variedades de sorgo para altura de plantas (AP), onde a média das cultivares por local variou de 3,41 m em Capivari; 3,52 m em Piracicaba; 3,95 m em Sete Lagoas até 4,82 m em Nova Porteirinha. Os resultados mostram a inteiração entre o ciclo vegetativo e altura de plantas (AP), nos locais onde as cultivares apresentaram maior ciclo também apresentaram maior porte. Lanza (2017), avaliando a cultivar BRS 716, durante o ciclo vegetativo as plantas apresentaram o comportamento linear e crescente, atingindo a altura máxima 135 DAE, com altura média de 3,70m e taxa de crescimento de 24,71%.

Geronutti et. al., (2018) verificaram que o aumento do nível de irrigação aumentava consideravelmente a altura das plantas. Ao nível mais elevado da evaporação em tanque Classe A (125% da ECA), obteve-se plantas com a maior altura média (2,62 metros), já no nível mínimo correspondente a 25 % da ECA apresentou a menor altura média de plantas (1,47 m). Cavalcante (2017), desenvolveram ensaios com as cultivares de sorgo Palo Alto e Malibu

em Rio Verde - GO, e verificou-se os seguintes resultados durante a colheita, onde a altura média de planta foi de 4,52m e diâmetro de colmo de 2,1cm para o cultivar biomassa e altura de 2,71 m, diâmetro de colmo de 2,1 cm para a cultivar sacarino.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios da produção de massa verde (PMV) em  $t\cdot ha^{-1}$ , havendo diferenças estatísticas significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre os materiais avaliados e portanto ressalta - se a interação entre o número de folhas (NF), crescimento vegetativo (CV), altura de planta (AP) e produção massa verde (PMV) das cultivares de sorgo sacarino e biomassa, com destaque para cv BRS 716 foi de  $166.34 t\cdot ha^{-1}$  seguido da cv BRS 511 foi de  $108.58 t\cdot ha^{-1}$ , cv Palo Alto foi de  $78.22 t\cdot ha^{-1}$  e cv Malibu de  $71.78 t\cdot ha^{-1}$  respectivamente. Parrella et. al., (2010) avaliaram 25 cultivares de sorgo sacarino, em Sete Lagoas - MG, Nova Porteirinha - MG, Mocambinho - MG, Goiânia-GO e Sinop - MT na safra agrícola 2009/2010 e verificaram-se diferenças significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre as cultivares para as características avaliadas, mostrando que as cultivares diferem geneticamente entre si quanto a altura de planta e produção de biomassa, variando de 2,57 a 3,09m, e 38,13 a 54,56  $t\cdot ha^{-1}$  respectivamente.

Segundo Batista (2016), verificou-se o potencial de produção de massa fresca total no período de safra, na cultivar de sorgo sacarino BRS 511 obteve uma produtividade de  $78 t/mf/ha^{-1}$ , enquanto que as cultivares BD 7607 e BRS 716 (sorgo biomassa) apresentaram as maiores produções de biomassa, 110 e 108  $t/mf/ha$  respectivamente. Oliveira (2016) avaliou a cultivar de sorgo biomassa BRS716 em Dracena – SP, em área destinada ao plantio de cana durante a reforma do canavial e verificou a produção de massa verde (PMV) ao longo ciclo vegetativo os valores de  $74,46 t\ ha^{-1}$  aos 95DAS,  $89,46 t\ ha^{-1}$  aos 125DAS e  $99,11 t\ ha^{-1}$  aos 162DAS respectivamente.

Nascimento et. al., (2017) avaliou 34 genótipos de sorgo biomassa em Vilhena - RO, dos quais, o híbrido BRS 716, foi que apresentou a maior produção de biomassa com panícula, na ordem de  $87 t\cdot ha^{-1}$ , enquanto que os genótipos experimentais 201429B006 e 201429B022 apresentaram as maiores produções de massa verde sem panícula, na ordem de 75 e 72  $t\cdot ha^{-1}$ . Teixeira (2017), com a cultivar sacarino cv BRS 511 registrou maiores produtividades

de massa fresca total (PMF) entre os estádios de emborrachamento (69 dias após o plantio - DAP) ao grão farináceo (112 DAP).

Cavalcante (2017), avaliou a demanda das cultivares Palo Alto 2562 e Malibu 4010, através da marcha de absorção macro e micronutrientes durante os seus ciclos vegetativos e observou que a produção de massa fresca foi de 64.925 kg ha<sup>-1</sup> e 93.088 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que a produção de matéria seca por ocasião da colheita foi de 41.828 kg ha<sup>-1</sup> e 24.853 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Segundo os resultados de produção da cultura do sorgo sacarino a quantidade de macronutrientes extraídas obedece à seguinte ordem: K > N > S > Mg > Ca > P e para os micronutrientes é a seguinte: Fe > Zn > Mn > B > Cu. Para a cultura do sorgo biomassa a extração obedeceu a seguinte ordem: K > N > Ca > Mg > S > P, enquanto que o acúmulo de micronutrientes na parte aérea da planta da cv Palo Alto 2562 foi a seguinte: Fe > Zn > Mn > Cu > B.

Os resultados da produção de matéria seca (PMS ton.ha<sup>-1</sup>) apresentados na tabela 1, demonstram que houve diferenças estatísticas significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre si, evidenciando a alta produtividade PMS ton. ha<sup>-1</sup> da cv BRS 716. Quando comparada com a cv Palo Alto (biomassa) chegou a ser 219% superior, em relação as cultivares de sorgo sacarino cv BRS511 e cv Malibu que possuem colmos suculentos, a produtividade também foi maior, cerca de 208% e 319% respectivamente. É importante enfatizar a performance da cv BRS 716 ao longo do ciclo vegetativo, por apresentaras maiores e melhores relações entre as partes da planta, pois a harmonia entre os componentes, refletiram positivamente no desempenho fisiológico, nos índices de produção e produtividade.

Segundo Batista et. al., (2017) em ensaios desenvolvidos com sorgo biomassa cv BD 7607 e cv BRS 716 considera que os resultados com a produção de massa seca total estão diretamente relacionados aos índices de produção de massa fresca total obtidos no período da safra, em função principalmente da altura da planta e da duração do ciclo das cultivares, sendo 44 e 39 t/ha<sup>-1</sup> respectivamente.

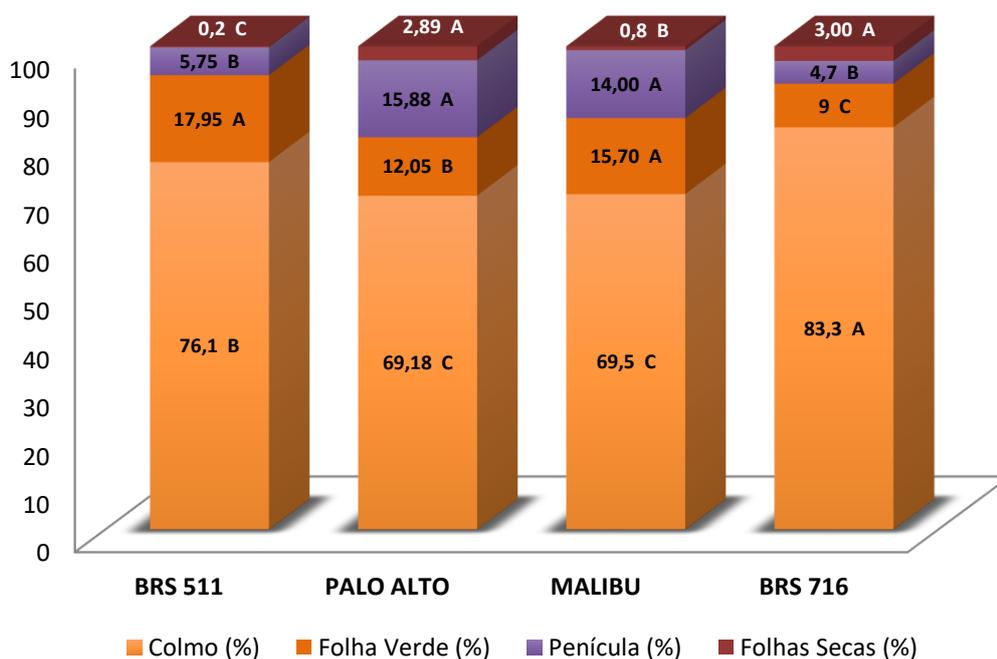
De acordo May et. al., (2013) a porcentagem de matéria seca (MS) na biomassa de sorgo varia com o genótipo e a época de colheita. Por apresentar um maior ciclo sua colheita ocorre nos períodos mais secos de (abril a junho), onde as

porcentagens de matéria seca são mais elevadas, variando de 35 a 55% e o ponto ideal após a maturação fisiológica no estágio de grão farináceo.

Uribe et. al., (2017), relacionam as épocas de colheita em dias após a semeadura (DAS) com a produção em toneladas de matéria seca por hectare (ton./ha-1) e chegou aos seguintes resultados com o cv Palo Alto: pré-florescimento (PF) com 89 DAS produzindo 27,22t/ha, florescimento (F), com 107 DAS produzindo 38,08t/ha, grão leitoso (GL) com 117 DAS produzindo 38,35t/ha e grão duro (GD) 29,08t/ha<sup>-1</sup> respectivamente. Cavalcante (2017) ressalta o desenvolvimento apresentado com cv Malibu 4010, mais de 1/3 do acúmulo total de MS (15.586 kg ha<sup>-1</sup> - 37,3%) ocorreu na fase de emborrachamento ao florescimento, num período total de 23 dias.

#### 5.1.4 Participação percentual da planta de sorgo

Gráfico 05 – Apresenta a composição estrutural da planta (%) das cultivares de sorgo sacarino e biomassa, no estágio final de maturação fisiológica dos grãos.



A composição estrutural da planta de sorgo sacarino e biomassa (O gráfico 4), quanto a participação percentual de caule, folha, panícula e folha seca na matéria seca total, apresentou - se diferenças estatísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste Tukey, sendo a cultivar cv BRS 716 de maior destaque, pelo alto rendimento de colmo 83,3% e porcentagem de matéria seca 40,23 % MS em relação aos demais cultivares. Apesar de apresentar o maior número de

folhas 18 e 24 por planta, característica essencial do processo fotossintético, entre as cultivares foi que apresentou menor relação folha haste 9%, reafirmando o seu potencial para produção biomassa. Já os genótipos sacarinos quanto participação da folha na matéria seca total, foram os que diferiram estatisticamente entre demais variou de 15,70 e 17,95%. Semelhantemente, Teixeira (2017) verificou a participação da biomassa do colmo em relação a massa total da planta da cv BRS716 onde a média foi 85% da massa fresca total e 80% da massa seca total. A biomassa de folha correspondeu, em média, a 12% da massa fresca total e 17% da massa seca total, enquanto que a biomassa da panícula foi de 3% da massa fresca total e 4% da massa seca total da planta.

Para a participação percentual da panícula em relação aos componentes da planta, destacaram as cultivares cv Palo Alto (B) e Malibu (S) diferindo - se estatisticamente, demonstrando ser superior aos demais quanto a produção de grãos. Ribas (2014) descreve não ser vantajosa a maior participação da panícula em cultivares de sorgo sacarino por haver no final do ciclo vegetativo, a translocação dos fotoassimilados armazenados no colmo na forma de sacarose, pois estes, são destinados ao enchimento dos grãos e influenciando diretamente no rendimento de caldo e conseqüentemente a produção de etanol.

## **5.2 Potencial de geração de etanol**

### **5.2.1 Produção de massa do colmo, volume de caldo extraído e rendimento de caldo e bagaço.**

Os resultados obtidos a partir da análise de variância (ANOVA) revelaram as características e os potenciais de cada uma das cultivares de sorgo sacarino e biomassa para produção de etanol (Tabela 2). Para os parâmetros porcentagem da massa de colmo verde e volume de caldo, houve variação significativa ao nível ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste Tukey, onde a cultivar cv BRS 511(S) diferiu estatisticamente entre os genótipos avaliados cv Malibu sacarino (S) e cultivar BRS716 biomassa (B).

Tabela 02 – Resumo das análises de variância (ANOVA) demonstram os parâmetros como: Colmo (%), volume de caldo (V.Caldo), rendimento de caldo (R.Caldo), rendimento de bagaço (R.Bagaço), °Brix (%), pH e rendimento de etanol (R.Etanol), a média e o coeficiente de variação (CV %) das cultivares de sorgo sacarino e biomassa.

CULTIVAR	Colmo (%)	V.Caldo (L/ha)	R.Caldo (%)	R.Bagaço (%)	°Brix	pH	R.Etanol (L/ha)
<b>BRS511(S)</b>	76,10 B	46.890 A	42,87 A	57,13 C	14,73 A	5,03 A	4026,64A
<b>MALIBU(S)</b>	69,61 C	25.111 C	34,81 B	65,19 B	<b>13,78 A</b>	4,98 A	2665,27 B
<b>BRS716(B)</b>	83,55 A	37.736 B	23,09C	76.91 A	12,01 B	5,03 A	2030,60 C
<b>CV (%)</b>	2,99	12,6	5,27	2,69	6,32	0,70	13,03

CV =Causa de variação (%); **R** = Rendimento; **V**= Volume; **(L/ha)** =Litros por hectare; **(%)** = Porcetagem;**(S)** = Sacarino;**(B)** = Biomassa;

No parâmetro volume e rendimento de caldo houve variação significativa ao nível de 5% entre os genótipos sacarinos e biomassa, demonstrando a interação entre as variáveis avaliadas, com a superioridade os materiais selecionados de aptidão para produção de caldo, com ênfase para cultivar cv BRS 511 (S) que apresentou a melhor performance dos índices de rendimentos industriais que, por conseguinte refletiram diretamente na produtividade de etanol. Enquanto que o desempenho da cv BRS 716 (B) em relação ao rendimento de bagaço, os resultados demonstraram-se inversamente proporcionais ao rendimento de caldo, diferindo-se estatisticamente ao nível ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste Tukey, sendo um destaque pela alta composição percentual de biomassa lignocelulósica com 76,91%, apresentando-se como uma alternativa em potencial para produção de etanol de segunda geração e ou bioeletricidade.

Pereira Filho et al. (2013) ressaltam que o peso de massa verde do colmo reflete positivamente na produção de caldo. Resultados semelhantes foram obtidos por Parrella et al. (2010), em ensaios desenvolvidos nas regiões centroeste e sudeste, onde a produção de massa verde do colmo das cultivares analisadas variaram de 38,13 a 54,56 t.ha<sup>-1</sup>, valores abaixo aos resultados obtidos no presente estudo com 87,65 t.ha<sup>-1</sup>.

Teixeira (2017) observou o desempenho da cultivar BRS 511 de acordo com o seu estágio fenológico em que os máximos rendimentos ocorreram nos estádios de grão pastoso (101 DAP), grão farináceo (112 DAP) e a média de produtividade de colmo variou de 101,53 a 103,10 ton. ha<sup>-1</sup>, acima dos resultados encontrados (87,65 t.ha<sup>-1</sup>) e taxa de extração do caldo (TE) de 68,89 e 64,27% respectivamente, ou seja, acima dos resultados obtidos neste ensaio,

enquanto que a porcentagem do bagaço pelos altos rendimentos apresentados demonstrou - se baixo da ordem de 31,11 a 35,73% inferiores aos encontrados nesta pesquisa.

Os teores dos sólidos solúveis totais presentes no caldo °Brix expressos na tabela 02, apresentaram a cultivar cv BRS 511 com o melhor desempenho quanto a concentração de açúcares totais, diferindo-se estatisticamente ao nível ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste Tukey quando comparado aos materiais cv Malibu (S) e cv BRS 716 (B) respectivamente.

Durante a fase de maturação fisiológica dos grãos, que é a época que normalmente, ocorre à concentração dos açúcares redutores totais no caldo e aumento percentual de caldo extraível. Estes parâmetros, entretanto, constituem como sendo a base para de determinação do ponto ideal para realização da colheita, que ainda pode variar de acordo com a cultivar e as condições ambientais Tomaz e Assis (2013). Teixeira (2017) observou na cultivar BRS511 os parâmetros °Brix e rendimento de °Brix por hectare e verificou que os melhores desempenhos produtivos ocorreram nos estádios de grão farináceo (112 DAP) e grão duro (122 DAP), sendo a média de °Brix de 14,43 e 16,03 % e o rendimento de °Brix de 9,82 e 9,02 ton. ha<sup>-1</sup> respectivamente. Oliveira (2016) observou o percentual de sólidos solúveis totais (SST) na cultivar BRS 716 a partir das avaliações realizadas aos 95,125 e 162 dias após semeadura DAS, sendo os valores de 4,88, 4,59 e 9,16°Brix respectivamente.

Já Souza et al. (2011) relaciona a característica Brix com a época do ano e verificaram que a maior média entre as cultivares de sorgo sacarino ocorreu no outono e associa a influência do clima durante o ciclo vegetativo, onde há menor precipitação, houve maior demanda fisiológica por água pela planta, traduzindo em uma maior concentração dos sólidos solúveis totais no caldo.

Solano (2014) conduziu ensaio em Campos dos Goytacazes, RJ e avaliou as cultivares de sorgo sacarino (BRS506, BRS508, BRS509 e BRS551), sob diferentes doses de nitrogênio (0, 80, 160, 240 e 320 kg ha<sup>-1</sup> de N) e obteve os seguintes valores médios de altura de plantas (AP) de 2,77 a 2,80m, diâmetro de colmo (DC) de 15,3 a 16 mm, massa do caldo (MC) de 33,61 a 36,63 (Mg ha<sup>-1</sup>), produção de massa verde de colmos (MVC) de 55,15 e

59,39 ton. kg ha<sup>-1</sup> e teor de brix (°Brix) de 20,62 a 21,11% respectivamente. Cavalcante (2017) avaliou o híbrido Malibu 5010 e na ocasião da colheita a cultivar apresentou altura de 2,71 m, diâmetro de colmo de 2,1 cm e °Brix de 16,07 respectivamente.

### 5.2.2 Estimativa da produção de etanol

Os resultados obtidos para estimativa da produção de etanol, basearam-se no índice de etanol da equação estequiométrica em que reflete a condições atuais de fermentação, desenvolvida por Finguerut et al, (1985). Onde os resultados apresentaram a cv BRS511(S) com a maior produtividade cerca 4026,64 L/ha<sup>-1</sup> diferindo estatisticamente ao nível ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste Tukey, sendo superior em 51,07% quando comparado a cv Malibu (S) e em relação ao cv BRS716(B) foi de 98,27% respectivamente. Fernandes (2014) em ensaios desenvolvidos na safra agrícola 2012 e 2013 utilizando a cultivar BRS511, encontrou valores médios de produção de etanol por hectare que variaram de 2.485,45 a 2.913,85 l/ha, valores estes inferiores aos encontrados neste trabalho. Segundo Pereira Filho et. al. (2013) ressaltam que a concentração de açúcares no caldo, é essencial para o processo de conversão em etanol e destacam - se os fatores limitantes à produtividade como material genético, condições edafoclimáticas, período de colheita e eficiência de processos de transporte e de conversão industrial.

O referencial de produtividade de etanol com o sorgo sacarino varia em torno de 40 a 70L de etanol por tonelada de biomassa e os teores mínimos de açúcares são correspondentes a 12,5% para ART e de 80 Kg ART/ton.-1 de biomassa (PARRELLA, 2012; MAY, 2012). Neste ensaio, os materiais sacarinos tiveram uma produtividade de etanol variando de 40,63 a 48,72 L/ton.-1 acima limite mínimo considerável para viabilidade do processo industrial. Segundo May et al. (2012) ressaltaram o grande potencial das cultivares de sorgo sacarino BRS 511, BRS 509 e BRS 508 como matéria-prima para produção de etanol e estimaram a produtividade de etanol dos mesmos, sendo equivalentes a 75 litros por tonelada de biomassa e produção de etanol superior 4.325 litros por hectare. Os altos teores de açúcares fermentescíveis presente no colmo do sorgo sacarino são semelhantes aos da cana de açúcar, essa matéria pode ser inserida às usinas como uma fonte

alternativa viável e complementar a produção de etanol durante o período de entressafra.

### 5.2.3 Avaliação Bioenergética

#### 5.2.3.1 Teor de cinzas

Os resultados obtidos para os teores de cinzas entre as cultivares avaliadas variaram de 2,97 a 4,06% (gráfico 05), diferindo estatisticamente a nível ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste Tuckey. Esses valores são inferiores aos encontrados por Batista (2017) com as cultivares BRS 511 e BRS 716 em que as médias foram 6,31 e 6,50 % respectivamente. Oliveira (2016) também verificou resultados semelhantes com a cultivar BRS716, sendo os teores de cinzas na matéria seca entre 5,8 +/- 1,7%. Os genótipos BRS 511(S), Malibu (S) e Palo Alto (B) apresentaram os maiores percentuais de cinzas variando de 3,88 a 4,06%, já o material biomassa BRS 716 (B) obteve de 2,97 %, o resultado apresentado é inversamente proporcional a energia gerada através do poder calorífico superior (PCS), ou seja, quanto menor o teor de cinzas maior produção de energia entre as cultivares.

#### 5.2.3.2 Poder calorífico superior

O poder calorífico superior (PCS) no período de maturação fisiológica dos grãos entre as cultivares sacarino e biomassa variaram de 18,22 a 18,43 MJ/kg<sup>-1</sup> de matéria seca (gráfico 05), diferindo-se estatisticamente ao nível ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste Tukey, sendo a cultivar BRS 716 (B) que apresentou o melhor desempenho entre as cultivares avaliadas. Teixeira (2017) observou ao longo dos estádios fenológicos da cultivar BRS 716 e registrou o poder calorífico superior (PCS) entre 4363 a 4464 kcal kg<sup>-1</sup> de matéria seca e verificou também que o maior PCS foi registrado no estágio de grão farináceo com 4464 kcal kg<sup>-1</sup> os resultados são semelhantes aos obtidos no presente estudo. Segundo Cavalcante (2017) obteve durante o período da colheita com o híbrido Palo Alto 2562, uma altura de 4,52 m, diâmetro de colmo de 2,1 cm e poder calorífico de 3.620 kcal kg<sup>-1</sup>.

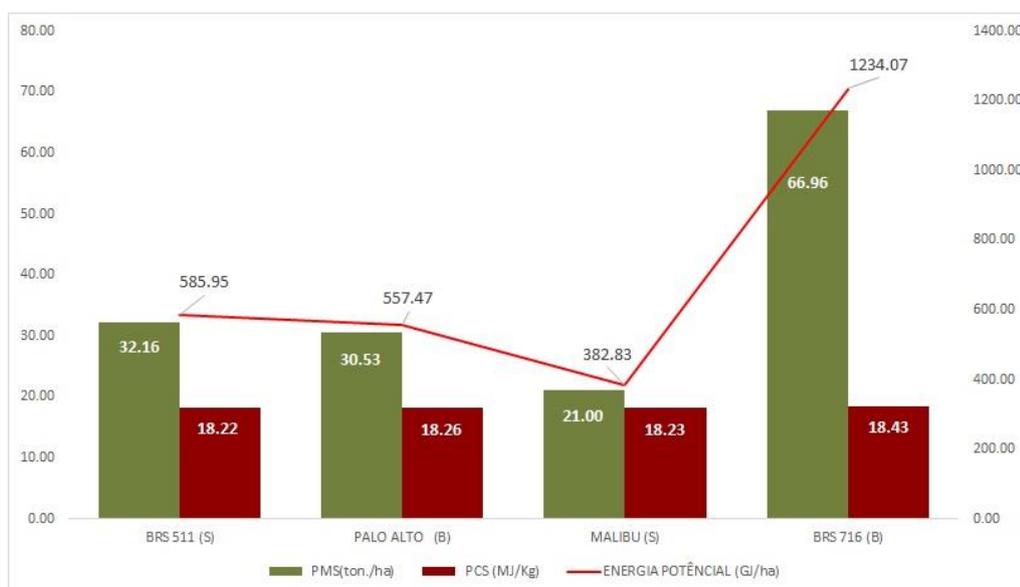
Costa et al. (2017), observou-se que o sorgo biomassa apresentou poder calorífico 1,8% maior que a cana-de-açúcar e valores de TMS similares (54 t/ha). Desta maneira, a quantidade de energia produzida por hectare foi 5%

maior para a nova matéria-prima em relação a cana-de-açúcar. Ressaltaram-se ainda que a realização de duas safras anuais do sorgo biomassa pode resultar na produção de até 50% a mais de energia por hectare.

### 5.2.3.3 Energia Potencial

A interação entre componentes bioenergéticos e as produtividades presentes nos genótipos de sorgo sacarino e biomassa, foram determinantes para expressão da energia potencial entre as cultivares avaliadas (gráfico 05). As condicionantes para determinação do ponto ideal de colheita da biomassa no campo são: teor de umidade, a produtividade de matéria e poder calorífico superior. Onde a energia potencial (EP) é obtida a partir da relação produção de matéria seca por hectare e poder calorífico da biomassa de sorgo. Nesta avaliação a cultivar biomassa cv BRS 716 apresentou a EP 1235,81 GJ/h<sup>-1</sup>, diferindo-se estatisticamente ao nível de ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste Tukey, onde desempenho energético dessa cultivarem relação aos demais genótipos avaliados os resultados foram 2,11, 2,17 e 3,24 vezes maior que acv BRS511(S), cv Palo Alto (B) e cv BRS511 e Malibu (S) respectivamente.

Gráfico 06 – Apresenta a composição bioenergética PMS (ton./ha-1), PCS (MJ/Kg-1) e EP (GJ/ha-1) da planta de sorgo entre as cultivares sacarino e biomassa no estágio final de maturação fisiológica dos grãos.



**PMS** – Produção de matéria seca **PCS** – Poder calorífico superior **EP**- Energia Potencial;  
**Ton./ha<sup>-1</sup>** – Tonelada por hectare **MJ/kg**- Mega Joule por quilo **GJ/ha<sup>-1</sup>** – Giga Joule.

Em ensaio desenvolvido Teixeira (2017) utilizou a cultivar BRS 716 verificou que os maiores valores de energia potencial (EP), ocorreram no estágio de grão farináceo, com  $1.388,66 \text{ GJ/ha}^{-1}$ , sendo 12.44 % sendo superior ao resultado obtido nessa pesquisa. Enquanto que Batista (2016) avaliou as cultivares de sorgo BRS 511 e BRS 716 e verificou a produção de energia potencial por hectare, sendo os valores de 505 e  $654 \text{ GJ/ha}^{-1}$ , esses resultados são bem inferiores aos obtidos com do presente estudo, que variaram entre 13,51e 47,08% respectivamente.

## 5 CONCLUSÃO

Do ponto de vista agrônomo, a cultivar BRS 716 que apresentou a menor relação folha - colmo em termos percentuais (9%), todavia a mesma dispôs de um maior número de folhas, que aliado às altas taxas de luminosidades durante o ciclo vegetativo, onde a interação desses fatores e características favorece a uma maior atividade fotossintética e por consequência maior crescimento, maior produção de massa verde e matéria seca por hectare.

A cultivar biomassa Palo Alto de ciclo médio tardio sobre as condições edafoclimáticas do Tocantins, destacou-se como alternativa em potencial a ser explorada como cultura de sucessão no período de safrinha, a ser utilizada como matéria prima para cogeração de energia.

A integridade e a expressão das características morfoagronômicas ao longo dos ciclos vegetativos apresentados pelos genótipos sacarinos BRS 511 e biomassa BRS 716, foram evidenciadas através dos seus desempenhos que resultaram em maior produção e produtividade de energia potencial e de etanol entre os materiais avaliados;

A cultivar sacarino BRS 511 apresentou maior concentração de açúcares solúveis totais (Brix) que associado a produção de matéria verde, porcentagem de colmos que refletiram diretamente na produção de etanol.

Entre as cultivares de sacarino e biomassa não houve variação significativa quanto ao poder calorífico superior (PCS), no entanto a produção de matéria seca (PMS) deve ser fator determinante para produção de energia potencial (EP).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, V. H. V.; DIAS, L. E.; RIBEIRO, A. C.; SOUZA, R. B. Uso do gesso agrícola. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. H. (Ed.). Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 67-78.

AMORIM, H. V. (Coord.) **Fermentação alcoólica, ciência & tecnologia**. Piracicaba: Fermentec, 2005. 448 p.

André Franco. Safra 2014/15: indicadores e resultados do sorgo. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/alternativas/ceres-novas-variedades-sorgo-safra-160914>> Acesso em: 29 maio de 2018.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. Secretaria de Produção e Agroenergia. 2ª ed. Ver. - Brasília, DF: Embrapa Informação e Tecnológica, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p

BRASIL- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Rio de Janeiro; 2013. 353p.

BRASIL. Instrução normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013: Padrão para Produção e Comercialização de Sementes de Sorgo. Brasília: DOU., 2013. 38p.

BATISTA, V. A. P.; Avaliação Bioenergética de Sorgos Biomassa, Sacarino e Forrageiro. 2016. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de Magister Scientiae..Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais – Brasil.

BATISTA et al., V. A. P.; Produtividade de Sorgo Biomassa, Sacarino e Forrageiro em Duas Épocas de Corte. In: XI WORKSHOP Agroenergia: Matérias Primas. Centro de Convenções da Cana. Ribeirão Preto-SP. ISBN: 978-85-85564-34-6. 2017.

BEZERRA, B.M., Avaliação da qualidade de sementes comerciais de sorgo disponibilizadas aos produtores rurais do Distrito Federal e entorno. 2017. 35f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2017.

CAMPOS, N. L., Políticas de estado no setor sucroenergético. Revista Geo UERJ, Rio de Janeiro, n. 26, p. 301-328, 2015.

CANAL RURAL, Ceres e Raízen produzirão etanol de sorgo sacarino. 02 de abril de 2015. Disponível em: < <https://canalrural.uol.com.br/noticias/ceres-raizen-produzirao-etanol-sorgo-sacarino-55753/>> Acesso em: 04 de julho de 2018.

CASTRO, F.M. R. Potencial Agronômico e Energético de Híbridos de Sorgo Biomassa. 2014. 80 p. Dissertação (Mestrado Acadêmico) – Universidade Federal de Lavras – UFLA. Minas Gerais.

CAVALCANTE, T. J. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, agosto de 2017. Marcha de absorção de macro e micronutrientes nas culturas do sorgo sacarino e sorgo biomassa.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. InfoMercado: Dados individuais, 2017. Disponível em: [www.ccee.org.br](http://www.ccee.org.br). Acesso em: 03 julho. 2018.

Centro da Biomassa para Energia (CBE), 2008, “Utilização da biomassa florestal residual para aproveitamento energético”, ficheiro XLS 155, Miranda do Corvo. e-mail: [cbe@mail.telepac.pt](mailto:cbe@mail.telepac.pt) <http://www.centrodabiomassa.pt>

CIARAMELLO et al., S.; Comparação Entre Cana-de-Açúcar e Sorgo Sacarino na Produtividade de Megawatt por Hectare. In: Anais [Recurso eletrônico] sob o título: Edição especial dos trabalhos premiados no II Congresso Internacional de Biomassa; organizado por: Fernando Santos, Jaqueline de Mattia; Fernando Gomes; Robson Evaldo Bohrer Danni Maisa da Silva. – Porto Alegre: Editora da Uergs: 2017.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: ISSN 2318-6852 v. 10 Safra 2017/18 - Décimo levantamento, Brasília, p. 1-178, julho 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/rural/Downloads/BoletimZGraosZjulhoZ2018.pdf> Acesso em: 30 jul. 2018.

COSTA, R. de Q. Fenologia e análise de crescimento do sorgo forrageiro Volumax em Vitória da Conquista - BA. Vitória da Conquista - BA: UESB, 2013. Dissertação – Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia.

CUNHA, S. P. da; SEVERO FILHO, W. **Avanços Tecnológicos na Obtenção de Etanol a Partir de Sorgo Sacarino (Sorghum bicolor (L.) Moench)**. TECNO-LÓGICA, Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 2, p. 69-75, jul./dez. 2010.

DIAS, R. Governo Temer prepara um novo apagão. Brasil Debate, 2017. Disponível em: <http://brasildebate.com.br/governo-temer-prepara-um-novo-apagao/>. Acesso em: 02 jul. 2018.

DURÃES, F.O.M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A da C. Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público-Privada: Oportunidades, Perspectivas e Desafios. Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2012. Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 138).

EMYGDIO, B. M. Produção de etanol a partir de sorgo sacarino. 2010. Artigo emHypertexto.Disponívelem:<[http://www.infobibos.com/Artigos/2010\\_4/sorgo/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/sorgo/index.htm)>. Acesso em: 26/5/2017.

EMYGDIO et al., B.M.; Desenvolvimento de Cultivares de Sorgo Sacarino em Solos Hidromórficos Visando a Produção de Etanol Safra 2011/2012.. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. 2014. ISSN 1678-2518.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA MILHO E SORGO. Cultivo do sorgo, Brasília, 2014.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2018. Brazilian Energy Balance 2018 Year 2017 / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computerstatisticalanalysis system. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERNANDES, G. Avaliação e caracterização agroindustrial do sorgo sacarino visando a produção de etanol. 198f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

FERNANDES et al. G.; Caracterização dos Açúcares em Diferentes partes dos Colmos do Sorgo Sacarino. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 9., 2014, São Paulo. Artigo. Anais... Curitiba: Porths Eventos, 2014. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1002633>>. Acesso em: 7 jun.2018.

FINGUERUT, J.; LEIMER, K.H.; LUCREDI, H.A.; ROSSELL, C.E.V. Estequiometria da fermentação alcoólica a partir do caldo de cana. Boletim Técnico Copersucar 35/85, Piracicaba, n. 12, p. 45-48, 1985.

GAZOLA, R. N.; CASTILHO, R. M. M.; DINALLI, R. P.; CELESTRINO, T. S.; MÓDENA, C. M. Germinação e crescimento inicial de plântulas de pepino em substratos comerciais. Tecnologia & Ciência Agropecuária, João Pessoa, v.7, n.3, p.25-30, 2013.

GOMES, A. de P. G.; RODRIGUES, D. de S.; OLIVEIRA, P. A. de Caracterização do Sorgo para a Produção de Etanol. Agroenergia em Revista ■ Edição 3 ■ Agosto 2011 Embrapa Agroenergia.

JANDREY et al., D. B.; Agroenergia e Agricultura, Revista de Ciências Agroveterinárias. Lages, v.9, n.1, p. 82-89, 2010 ISSN 1676-9732.

LANDAU, E. C.; Schaffert E.R. **Zoneamento de áreas aptas para o plantio do sorgo sacarino na época de entressafra de cana-de-açúcar no Brasil.** Agroenergia em Revista. 3. ed. Agosto, 2011. Disponível em: <[http://www.cnpae.embrapa.br/imprensa/agroenergia-em-revista/AgroenergiaEmRevista\\_ed03.pdf](http://www.cnpae.embrapa.br/imprensa/agroenergia-em-revista/AgroenergiaEmRevista_ed03.pdf)>. Acesso em: 10 Agosto.2018.

LANZA, A. L. L. Avaliação Forrageira do Sorgo Biomassa (BRS 716) em diferentes épocas de Corte e Estratégias de Adubação em Cobertura. 2017. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós graduação em Ciências Agrárias. Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas/MG.

LIMA, A. M. de **Estudos recentes e perspectivas da viabilidade técnico-econômica da produção de etanol lignocelulósico.** Circular Técnica. ed. 1ª eletrônica. 2011. nº 5. Brasília-DF. ISSN 217-44207.

MARTINS, et al., A. B. N.; Qualidade Fisiológica de Sementes de Sorgo Sacarino em Função do Espaçamento e Densidade de Plantas. 12ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa - ISSN 1982-2960. 2014.

MAY et al., André. Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa. Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 139).

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

MAY et al., A. Cultivo do Sorgo Biomassa para Cogeração de Energia Elétrica / editores técnicos André May, Dagma Dionísia da Silva, Flavia Cristina dos Santos. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo. 2013. P. 65 (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 152).

MACHADO, C. M . M. Produção de etanol de sorgo sacarino. Agroenergia em Revista 3º edição. Agosto/2011. Embrapa Agroenergia.

MONTEIRO, A. F. da S. Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

NAIK, S. N.; VAIBHAV, V. G.; PRASANT, K. R.; AJAY, K. D. Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.14, 2010, p. 578-597

NASCIMENTO et al. P. N.; **DESEMPENHO AGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA NO CONE SUL DE RONDÔNIA** In: Anais [Recurso eletrônico] sob o título: Edição especial dos trabalhos premiados no II Congresso Internacional de Biomassa; organizado por: Fernando Santos, Jaqueline de Mattia; Fernando Gomes; Robson Evaldo BohrerDanniMaise da Silva. – Porto Alegre: Editora da Uergs: 2017.

OLIVEIRA, N. A. B de O Uso do Sorgo Biomassa para Cogeração: Aspectos Técnicos e Econômicos. **2016**. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Escola de Economia de São Paulo, da Fundação Getúlio Vargas – EESP/FGV.

OPERADOR NACIONAL DOS SISTEMAS ELÉTRICOS (Brasil) (ONS). Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico [Rio de Janeiro], 2017. Disponível em: <http://ons.org.br/Paginas/Noticias/20180307-notacmse.aspx> . Acesso em: 08 jul. 2018.

PARRELLA et al. R. A. C.; Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25p (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

PARRELLA et al. R. A. C.; Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diferentes ambientes visando a produção de etanol. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28, 2010, Goiânia, GO. Anais. Goiânia: ABMS, 2010. p.2858-2866.

Parrella, R. A. C., Menezes, C. B., Rodrigues, J. A. S., Tardin, F. D., Parrella, N. N. L. D., Schaffert, R. E., 2014. Cultivares. In: Borém, A., Pimentel, L. D., Parrella, R. A. C. (ed.). Sorgo: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, 2014. cap. 7, p. 169-187.

PARRELLA, R.A.C. Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014.19p (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento)

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

RABELO, et al. M. M.; AVALIAÇÃO DE SORGO BIOMASSA VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOENERGIA. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 9., 2014, São Paulo. Artigo. Anais... Curitiba: Porths Eventos, 2014. Disponível em: <  
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113800/1/Avaliacao-sorgo.pdf>> Acesso em: 09 Jul. de 2018.

ROSA, S. E. S. D.; GARCIA, J. L. F. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n. 32, p. 117-156, dez. 2009. </http:  
[www.bndespar.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bnds\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev3204.pdf](http://www.bndespar.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bnds_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev3204.pdf) >. Acesso em: 07 Jul. de 2018.

SANTOS, F. C. et al., Efeito da Adubação de Cobertura com Nitrogênio e Potássio na Cultura do Sorgo Biomassa. Sete Lagoas: Embrapa / Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 73). 2013.(Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

SCHAFFERT, R. E.; SANTOS, F. G.; BORGONOV, R. A.; SILVA, J. B. Aprenda a plantar sorgo sacarino. *Agroquímica*, São Paulo, v. 13, p. 10-14, 1980.

SILVA, M. L. Avaliação de genótipos de sorgo forrageiro na zona da mata de Alagoas. 2011. 75 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Alagoas, Alagoas.

SOLANO, C. S., Avaliação Agroeconômica de Quatro Cultivares de Sorgo Sacarino (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) para Produção de Etanol em Campos dos Goytacazes - RJ. 2016. Tese de Doutorado – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Energia Agrícola. Campos dos Goytacazes. Rio de Janeiro. Brasil.

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

Sustentabilidade produtiva e inovação no campo / organização: José Carlos da Silva; Arejacy Antônio Sobral Silva; Rafael Tadeu de Assis. Uberlândia: Composer, 2013. 234 p.

SUNDUT□L, F Energy Systems For Ruminants. *ICEL. AGR.SCI.* 7,11-19. 1993.

VIAN, et al., C. E. F.; PERSPECTIVAS DA AGROENERGIA NO BRASIL. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco – Acre, 20 a 23 de julho de 2008.

UNICA. Setor sucroenergético. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/listagem.php?idMn=85>>. Acesso em: 16 Jun. 2017.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. 2015. Cana-de-açúcar. Indústria Brasileira da Cana de açúcar: Uma trajetória de evolução. 2015. Disponível em: [http://www.unica.com.br/noticia/linha do tempo/index.html](http://www.unica.com.br/noticia/linha_do_tempo/index.html) /. Acesso em: 15 Jul. 2018.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. 2018. A bioeletricidade em números. 2018. Disponível em: [file:///C:/Users/rural/Downloads/0b7e172c5107688ab53498516e7dee7f%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/rural/Downloads/0b7e172c5107688ab53498516e7dee7f%20(2).pdf). Acesso em: 10 Set. 2018.

USDA. USDA Agricultural Projections. Disponível em: <<http://www.ers.usda.gov/publications/oce081>> . Acesso em: 02 jul. 2017.

URIBE et al. R. A. M.; Produtividade do Sorgo Biomassa em Diferentes Épocas de Colheita. In: Anais [Recurso eletrônico] sob o título: Edição especial dos trabalhos premiados no II Congresso Internacional de Biomassa; organizado por: Fernando Santos, Jaqueline de Mattia; Fernando Gomes;

Robson Evaldo Bohrer Danni Maisa da Silva. – Porto Alegre: Editora da Uergs: 2017.