

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE  
PLANTAS**

**LIZANDRA PAESANO LARA**

**Interação entre genótipos de sorgo biomassa e ambientes de  
cultivo no estado de Mato Grosso**

**CÁCERES  
MATO GROSSO - BRASIL  
MARÇO - 2022**

LIZANDRA PAESANO LARA

**Interação entre genótipos de sorgo biomassa e ambientes de cultivo no estado de Mato Grosso**

Dissertação apresentada à UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Dessaune Tardin

CÁCERES  
MATO GROSSO - BRASIL  
MARÇO - 2022

## CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

L318i Lara, Lizandra Paesano.

Interação entre genótipos de sorgo biomassa e ambientes de cultivo no Estado de Mato Grosso / Lizandra Paesano Lara. – Alta Floresta/Cáceres/Tangará da Serra, 2022. 37 f. ; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação *Stricto Sensu* (Mestrado Acadêmico) Genética e Melhoramento de Plantas, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Multicampi, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2022.

Orientador: Dr. Flávio Dessaune Tardin.

Coorientador: Dr. Marco Antonio Aparecido Barelli.

1. *Sorghum bicolor*. 2. Avaliação Agronômica. 3. Interação GxA. I. Tardin, F. D., Dr. II. Barelli, M. A. A., Dr. III. Título.

CDU 633.174(817.2)


# **Interação entre genótipos de sorgo biomassa e ambientes de cultivo no estado de Mato Grosso**

LIZANDRA PAESANO LARA

Dissertação apresentada à UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO Carlos Alberto Reyes Maldonado, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas para a obtenção do título de Mestre.


Aprovado em 09 de março de 2022

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 FLAVIO DESSAUNE TARDIN  
Data: 21/03/2022 16:51:47-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>


---

Prof. Dr. Flávio Dessaune Tardin  
Orientador – UNEMAT- Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos  
Alberto Reyes Maldonado

Documento assinado digitalmente  
 MARCO ANTONIO APARECIDO BARELLI  
Data: 24/03/2022 11:57:08-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Marco Antônio Aparecido Barelli  
UNEMAT- Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes  
Maldonado

Documento assinado digitalmente  
 RAFHAEL FELIPIN AZEVEDO  
Data: 24/03/2022 14:01:41-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Rafael Felipin Azevedo  
UNIVAG – Centro Universitário de Várzea Grande

*A Deus, por me dar suporte em todos os momentos difíceis.  
A toda minha família, principalmente, minha mãe e avó que sempre me motivaram a  
seguir o caminho certo e nunca desistir.  
Aos amigos que batalharam por mim, em vários momentos, fazendo com que eu  
chegasse aonde cheguei.  
Amo todos vocês.*

*Dedico.*

*Tudo e todos se dirigem para o mesmo fim: tudo vem do pó e tudo retorna ao pó.*

*Eclesiastes 3:20*

## AGRADECIMENTO

A Deus, pela sabedoria, apoio e força para seguir o caminho de forma deliberada.

À Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado” e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de realizar esta dissertação.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro a esta pesquisa (Edital PRONEM 2014 – Processo 571329/2014).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Flávio Dessaune Tardin, pela orientação, ensinamentos e incentivos.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Marco Antônio Barelli, pelos ensinamentos e auxílio em mais uma etapa de minha vida acadêmica.

Aos meus pais, Simone Aparecida Garcia Paesano e Marco César Sampaio de Lara, que me deram apoio durante toda essa etapa.

Às minhas irmãs: Aymêe Bolonhezi de Lara, Maitê Bolonhezi de Lara e Helena Paesano Rondon, e ao meu irmão, Dimas José da Silva Júnior, pelo carinho, força e incentivo durante essa longa e dura caminhada.

À minha avó, Marilda Bordon Garcia, pelos conselhos, ensinamentos e apoios nos momentos difíceis.

À minha prima Raissa Vitória Paesano Luz Teodoro, que sempre me apoiou e ajudou em todos os momentos de construção desse trabalho.

Aos meus amigos da Academia, que atuaram ativamente na execução desse projeto. A todos meus amigos, em especial à Kárita Fernanda Lira da Silva e João Victor Machado do Rosário.

A todos que colaboraram diretamente ou indiretamente na implantação do experimento e coleta de dados, bolsistas e voluntários de pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos.

## BIOGRAFIA

**Lizandra Paesano Lara**, nasceu no dia 29 de agosto de 1996, na cidade de Cáceres, Mato Grosso - MT. É filha de Simone Aparecida Garcia Paesano e Marco César Sampaio de Lara. Estudou a Educação Básica nas escolas Q.I. Instituto Educacional, E.E. Esperidião Marques, Colégio Adventista de Cáceres, E.E. Prof. Natalino Ferreira Mendes e por fim, E.M. Vitória Régia, e concluiu seu Ensino Médio integrado ao curso Técnico em Agropecuária, no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia (IFMT) – Campus Cáceres, no ano de 2014.

No ano de 2015, ingressou na Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado” (UNEMAT) – Campus Cáceres, no curso de Bacharelado em Agronomia, e o concluiu no ano de 2020. Durante toda a graduação, foi bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e atuou ativamente em eventos acadêmicos, onde acarretou o anseio pela pesquisa científica. No primeiro semestre de sua graduação, foi convidada para fazer parte, como voluntária, da equipe de pesquisadores do Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal – LMGV, onde, posteriormente, nos anos de 2017 e 2018, foi selecionada como bolsista PIBIC, atuando diretamente em pesquisas de fitopatologia das plantas: Maracujá e *Teca*. Ainda na graduação, atuou como monitora das disciplinas de *Microbiologia Agrícola e Fitopatologia Geral*, proporcionando mais conhecimentos aos colegas acadêmicos ingressantes no curso. Ao final de sua graduação, no ano de 2019, realizou estágio na Embrapa Agrossilvipastoril, localizada em Sinop, Mato Grosso - MT, durante o período de 3 meses, enriquecendo ainda mais o seu desejo pela pesquisa.

No ano de 2020, ingressou no Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado”, onde trabalhou diretamente com a avaliação e a seleção de genótipos de sorgo biomassa e sacarino, desenvolvidos pelo programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo, avaliando suas características agrônômicas, em especial o sorgo biomassa, tema que foi estudado nesta dissertação.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 A CULTURA DO SORGO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 O SORGO BIOMASSA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO DO SORGO BIOMASSA .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES (INTERAÇÃO G X A) .....</b>	<b>9</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 LOCAIS E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3 GENÓTIPOS E CARACTERES AGRONÔMICOS AVALIADOS .....</b>	<b>12</b>
<b>3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....</b>	<b>14</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>23</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>24</b>



## RESUMO

LARA, LIZANDRA PAESANO; M. Sc.; Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado”; março de 2022; **Interação entre genótipos de sorgo biomassa e ambientes de cultivo no estado de Mato Grosso**; Orientador: Flávio Dessaune Tardin; Conselheiro: Marco Antonio Aparecido Barelli.

O sorgo biomassa, volumoso utilizado na alimentação animal, surge como alternativa para cogeração de energia, produção de etanol de segunda geração e biogás. Independente da finalidade, estudos de interação genótipos x ambientes (GXA) orientam a seleção e recomendação de cultivares para distintas localidades. Esta pesquisa avaliou genótipos e identificou a natureza (simples ou complexa) da interação GXA para diferentes características agronômicas, visando seleção e recomendação de plantio no Estado de Mato Grosso. Foram conduzidos experimentos, no delineamento em blocos casualizados, com 22 genótipos em dois municípios, Cáceres-MT e Sinop-MT. Análise de variância foi realizada, e caracterizada a natureza da interação GxA, conforme Cruz e Castoldi (1991). Os genótipos foram agrupados pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ) para as características Altura de Plantas (ALT), Produção de Massa Verde, Umidade e Produção de Massa Seca (PMS). Confirmaram-se nestas, existência de variabilidade genética e a ocorrência de interação GxA significativa ( $P < 0,01$ ). Com exceção da altura, demais características demonstraram natureza complexa da interação GxA, indicando maior dificuldade na seleção de genótipos comuns para distintos ambientes. Apesar disto, para PMS, característica de maior interesse neste estudo, o genótipo 201934B011 se destacou, ranqueado nos grupos de maiores médias nos dois ambientes, com produções superiores a 29,8 t ha<sup>-1</sup>. Performances semelhantes foram obtidas por 201934B14 e BRS 716 em Sinop, e pelo 202029B018 em Cáceres, indicando viabilidade de cultivo nesses locais. Valores de PMS observados são expressivos para cultura energética de ciclo curto (5 a 6 meses) e confirmam o sorgo biomassa como opção de cultivo no Mato Grosso.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*; avaliação agronômica; interação G x A.

## ABSTRACT

LARA, LIZANDRA PAESANO; M. Sc.; State University of Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado”; March of 2022; **Interaction between biomass sorghum genotypes and cultivating environments in the state of Mato Grosso**; Advisor: Flávio Dessaune Tardin; Conselour: Marco Antonio Aparecido Barelli.

Biomass sorghum, forage used in animal feed, is an alternative for energy cogeneration, production of second generation ethanol and biogas. Regardless of the purpose, genotype x environment interaction studies (GXA) guide the selection and recommendation of cultivars for different locations. This research evaluated genotypes and identified the nature (simple or complex) of the GXA interaction for different agronomic traits, aiming at selection and planting recommendation in Mato Grosso (MT). Experiments were carried out in a randomized block design with 22 genotypes in two localities, Cáceres-MT and Sinop-MT. Analysis of variance was performed, and the nature of the GxA interaction was characterized, according to Cruz and Castoldi (1991). The genotypes were grouped using the Scott-Knott test ( $P < 0.05$ ) for the characteristics Plant Height, Green Mass Production, Moisture and Dry Mass Production (DMP). The existence of genetic variability and the occurrence of significant GxA interaction ( $P < 0.01$ ) were confirmed. With the exception of height, other characteristics demonstrated the complex nature of the GxA interaction, indicating greater difficulty in selecting common genotypes for different environments. Despite this, for PMS, a feature of greatest interest in this study, genotype 201934B011 stood out, ranked in the groups with the highest averages in both environments, with productions above  $29.8 \text{ t ha}^{-1}$ . Similar performances were obtained by 201934B14 and BRS 716, in Sinop, and by 202029B018, in Cáceres, indicating viability of cultivation in these locations. Observed PMS values are expressive for short cycle energy crops (5 to 6 months) and confirm biomass sorghum as an option for Mato Grosso.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*; Agronomic evaluation, G x E interaction.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento acelerado da demanda por energia no Brasil, a cogeração de energia, por meio da combustão de biomassa, tornou-se atrativa às indústrias. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2017), em torno de 8,76% da matriz nacional de geração de energia elétrica é oriunda da combustão de biomassa, de diferentes origens, sendo a terceira maior fonte de energia brasileira. Em função da crescente demanda por energia, o sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, vem ganhando espaço nesse cenário, visto que a biomassa lignocelulósica produzida na parte aérea da planta é prioritariamente convertida em energia térmica por meio da queima direta (Lanza, 2017).

A busca por este tipo de matéria prima para a geração de energia se dá principalmente pelos elevados potenciais energéticos já demonstrados, comparados com outras espécies vegetais, como a cana-de-açúcar e a casca de arroz, que são utilizadas para esse propósito (Oliveira et al., 2018). Todavia, dentre esses vegetais, o sorgo tem chamado uma maior atenção dos produtores por possuir algumas vantagens, como, baixo custo de produção, adaptação, elevado poder calorífico, cultivo mecanizado do plantio até a colheita, alta produtividade de matéria verde e de matéria seca, superiores a 100t/ha e 30 t/ha, respectivamente, entre outras características (Parrela et al., 2021).

Seu metabolismo é classificado como C4, caracterizado pela eficiência energética e pela elevada taxa fotossintética. Adicionalmente, possui tolerância às situações de estresse hídrico e encharcamento do solo, sendo, assim, superior em comparação com a maioria dos cereais (Almeida Filho, 2012). Por sua ampla versatilidade, a cultura vem sendo muito utilizada em plantações, onde produtores buscam alternativas rentáveis para períodos de altas temperaturas e de estiagem que, em função da adaptação da espécie a essas condições climáticas, proporcionam seu bom desenvolvimento em zonas secas.

Diferentes estratégias utilizadas para o melhoramento genético vegetal buscam a maximização das características produtivas dessa espécie em um novo cultivar (Borém et al., 2017). Contudo, além da busca pelo melhor cultivar, devem ser realizadas pesquisas que visem avaliar a interação Genótipos x Ambientes (G X A), uma vez que essa interação, mesmo sendo predominantemente do tipo complexa,

ajuda a limitar indicações de cultivo de uma única cultivar para distintos ambientes, apresentando adaptação a alguns locais e não a outros.

Diante do exposto, esta pesquisa buscou estudar a interação entre Genótipos e Ambientes (G X A), no intuito de selecionar os melhores genótipos para as regiões estudadas, a saber, os municípios de Cáceres e Sinop, do estado de Mato Grosso – MT; e observar as distintas características agronômicas, que são: Altura de Plantas (ALT), Umidade, Produção de Massa Verde (PMV) e Produção de Matéria Seca (PMS) na colheita, para avaliar o comportamento de genótipos de sorgo biomassa nos diferentes ambientes de cultivo investigados.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CULTURA DO SORGO

O *Sorghum bicolor* (L.) Moench, é uma espécie pertencente ao Reino *Plantae*, Divisão *Magnoliophyta* (Angiosperma), Classe *Liliopsida* (Monocotiledonea), Ordem *Poales*, Família *Poaceae* (Gramineas) e Gênero *Sorghum* (Santos et al., 2005). Originária da África e de parte da Ásia, embora seja uma cultura muito antiga, sua expansão ocorreu somente no final do século XIX, em várias regiões do mundo (EMATER, 2012).

O sorgo é uma cultura de importância mundial, alcançando a quinta posição dentre os grãos mais produzidos, atrás somente do arroz, trigo, milho e cevada. Segundo o levantamento da Conab (2022), o sorgo teve uma área total plantada na safra de 2021/2022, até o mês de janeiro, de 864,7 mil hectares, mantendo o resultado obtido da safra de 2020/2021. Entretanto, a produtividade apresentou um aumento de 18,5% na safra de 2021/2022. Mesmo sendo um levantamento realizado somente para controle da produção de grãos, um dos pontos fundamentais para o aumento dessa produção é a ampla flexibilidade dessa espécie, em que sua matéria prima pode ser utilizada tanto na alimentação humana e animal, bem como na produção de cola, tintas, extração de açúcar, e na formação de palha para o sistema de plantio direto e de produção de energia.

Morfologicamente, a planta é composta por colmo ereto, sistema radicular vigoroso, com raízes seminais e adventícias, com folhas alternadas, compostas por bainha e lâmina foliar de nós individuais, com número variado entre 7 e 24 folhas, sendo a última folha emitida antes da inflorescência, denominada de folha bandeira. Seguido pelo surgimento completo da folha bandeira, da parte interna a sua bainha, ocorre no meristema apical a diferenciação floral, fase esta conhecida como estágio de emborrachamento, onde a inflorescência inicia sua emergência (Pinho et al., 2014).

A inflorescência, denominada panícula, possui pedúnculo e ráquis, parte em que se originam as ramificações secundárias e terciárias, onde se encontram os racemos com as espiguetas, isto é, as flores. Essa panícula, em função do ângulo de inserção dos eixos secundários, é classificada de diferentes formas: abertas, eretas, decumbentes, semiabertas, elípticas, redondas, escoradas, compactadas, ou ainda,

a combinação de mais de uma característica, como abertas e eretas ou compactas e redondas, para sua distinção. Considerada autógama, os racemos carregam as espiguetas aos pares, onde uma é séssil – sendo hermafrodita – e outra é pedicelada – apenas estaminada. Esse tipo de estrutura floral resulta na baixa taxa de fecundação cruzada, de 2 a 10%, em condições normais (Santos et al., 2005).

Mesmo apresentando um genoma relativamente pequeno, sendo uma espécie diplóide ( $2n = 2x = 20$  cromossomos) e com alta endogamia (Pereira, 2015), a variabilidade morfológica observada no sorgo proporciona diferentes propósitos para seu cultivo. O sorgo possui potencial de utilização desde alimento humano e animal a matéria prima de diferentes produtos, como colas e tintas, a cogeração de energia e combustível, como o etanol de segunda geração (Ribas, 2003). Visto isso, o sorgo é classificado agronomicamente de acordo com as características distintas entre si e em função a que se destina, sendo dividido em cinco tipos: granífero, forrageiro, sacarino, vassoura e biomassa (Parrella et al., 2014).

O sorgo granífero compreende genótipos de porte baixo, em sua maioria inferiores a 1,5m de altura, com a finalidade de produzir grãos. Geralmente, são destinados ao plantio de safrinha, em que os riscos de perda de safra de plantio de milho, por deficiência hídrica, são elevados significativamente (Parrella et al., 2014). Com ciclos bem definidos, variando de precoce a médio, seu cultivo tem atingido um patamar de desenvolvimento superior ao cultivo de milho de segunda safra (CONAB, 2022).

Já o sorgo forrageiro, também conhecido como silageiro, possui um porte mais elevado, quando comparado ao sorgo granífero. Destinado a produção de silagem, juntamente com o milho, tem uma produção de matéria verde que varia de 40 a 60 t/ha (Parisotto, 2020). Nessa categoria, é possível utilizar híbridos de dupla aptidão, onde deve ser observado o estágio de maturação e a época de colheita, que influenciam diretamente na qualidade da silagem. A variação da digestibilidade da forragem oriunda de sorgo está diretamente relacionada à presença ou à ausência de tanino, uma vez que elevados teores, quando inseridos na dieta de ruminantes, ocasionam redução na digestibilidade de hemicelulose e carboidratos pelo rúmen (Parrella et al., 2014; Beever et al., 2000).

O sorgo sacarino tem ganhado espaço no Brasil devido ao seu potencial para a produção de etanol e a sua disponibilidade de produção nos períodos em que a cana

de açúcar, matéria prima principal, possui limitações. Permitindo ampliar os dias trabalhados no setor sucroenergético, ele vem se tornando a principal matéria prima nos meses de março e abril. Ele pode atingir alturas superiores a 3 metros e apresentar panículas com grãos, o que não é o desejado, porque favorece o acamamento e, conseqüentemente, reduz a qualidade da matéria prima (Ribas, 2004; Porto, 2021; Parrella et al., 2014).

Semelhante ao sorgo sacarino, o sorgo tipo vassoura apresenta alturas superiores a 3 metros, todavia, sua distinção está na parte utilizada para comercialização, isto é, no interesse econômico. Suas panículas, classificadas como laxa, possuem ramos e pedicelos longos e suas espiguetas ficam separadas entre si. São dotadas de fibras longas e grãos encapsulados de glumas, que tem utilização exclusiva para confecção de vassouras resistentes, com durabilidade acentuada (Oliveira, 2018).

Por fim, o sorgo biomassa é composto por híbridos de porte alto, superiores a 3 metros de altura, com a finalidade de produzir biomassa para a queima/produção de biocombustíveis de segunda geração. Esses são os mais sensíveis ao fotoperíodo, florescendo em dias que possuem menos de 12 horas e 20 minutos de iluminação solar (Ronney, 1999), período que compreende de 21 de março a 22 de setembro, no Brasil (Parrella et al., 2014). Sendo uma cultura totalmente mecanizável, atinge patamares de produção superiores a 100 t/ha de matéria verde e 30 t/ha de matéria seca, em condições experimentais (Parrella et al., 2021).

De modo geral, independentemente do tipo em questão, o sorgo possui um ponto sensível chamado de fotoperíodo. Muitos híbridos possuem seu florescimento somente com estímulo, e esse estímulo trata-se da diminuição do período de horas de luz (Parrella et al., 2021). No Brasil, o período de ausência mínima de luz corresponde às datas entre 21 de março e 22 de setembro, ou seja, período em que os dias possuem menos de 12 horas e 20 minutos de luz (Ronney, 1999). Com o avanço de pesquisas, já existem cultivares insensíveis ao fotoperíodo disponíveis no mercado (Oliveira et al., 2015).

No entanto, a depender da finalidade de uso, os híbridos sensíveis são mais indicados para plantios no verão, período das chuvas, devendo ser evitado os plantios tardios, na segunda safra, devido ao seu florescimento precoce e à redução de seus potenciais produtivos nessas épocas de plantio. Tal situação é mais comum em

genótipos dos tipos sacarinos e biomassas, sendo esses alvos de programas de melhoramento, em virtude da variabilidade genética existente. Em contrapartida, o sorgo granífero já possui uma vasta gama de opções de híbridos insensíveis ao fotoperiodismo, resultados que foram obtidos por meio de estudos de conversão genética das plantas (Parisotto, 2020).

## **2.2 O SORGO BIOMASSA**

O sorgo é uma cultura popularmente cultivada visando a produção de grãos, contudo, nos últimos anos esse cenário tem se modificado, e uma nova finalidade para esta espécie vem ganhando espaço entre os plantios. A utilização para a produção de biomassa, por meio da utilização de genótipos que apresentam bons resultados, denominados de sorgo energia, tem acentuado a importância desse cultivo (Fortes et al., 2018). May et al. (2013) relatam que, em pesquisas e tecnologias, o sorgo biomassa é uma excelente alternativa para a geração de energia, sendo que seu potencial de produção de massa verde pode alcançar patamares superiores a 100 toneladas por hectare.

Com o crescimento populacional do Brasil, a demanda por energia tem se intensificado, em virtude da implantação de novas indústrias que atendem à demanda em ascensão no País. Paralelo a isso, a diversificação de fontes de energia vem crescendo e, dentre essas, a utilização de termelétricas se tornou um importante componente da receita energética do país, permitindo uma fluidez de preço de venda de quilowatt-hora (kWh), e favorecendo indústrias que constantemente sofrem elevados custos em seus ambientes produtivos. Anteriormente, a maioria dos parques industriais eram alimentados pela queima de bagaço de cana-de-açúcar em caldeiras, no entanto, essa matéria prima vem sofrendo aumentos de preços. A partir disso, o sorgo atua como fonte alternativa, tanto para a cogeração de energia térmica e elétrica como para a produção de etanol de segunda geração (Silva et al., 2018).

Adicionalmente, o sorgo biomassa atraiu atenções para outras características, como, cultura totalmente mecanizável – do plantio à colheita –, plantio por sementes; sistemas de produção agrícola usual e adaptado, com ciclo de cultivo curto que varia entre 5 e 6 meses; tolerância à seca e sensibilidade ao fotoperiodismo (Parrella et al, 2021). A principal particularidade encontrada no sorgo biomassa está relacionada à



sensibilidade ao fotoperíodo, onde tal mecanismo permite que híbridos sensíveis tenham alta produtividade de biomassa, quando plantados em épocas apropriadas que alongam seu ciclo vegetativo, promovendo maior incremento de massa verde e massa seca. Por essa razão, a semeadura de cultivares de sorgo biomassa é realizada preferencialmente nos meses de setembro e outubro (Parrella et al., 2010).

Em todo território nacional são realizados ensaios de sorgo biomassa, com o intuito de avaliar os ganhos no programa de melhoramento da cultura. Souza e Parrella (2019), em ensaios realizados nos anos de 2017 e 2018, avaliaram genótipos de sorgo biomassa no estado de Roraima - RR. Nesse estudo, os autores encontraram maior peso de massa verde no genótipo híbrido comercial BRS 716, que obteve 58 t ha<sup>-1</sup>, para o ano de 2017; e no genótipo 201737B009, que obteve 57,6 t ha<sup>-1</sup>, para o ano de 2018.

André (2021), que avaliou genótipos de sorgo em três locais distintos no estado de Mato Grosso – MT, na safra 2019/2020, pelas características de Porte: Peso de Massa Verde (PMV) e Peso de Massa Seca (PMS), observou que os maiores resultados encontrados foram os genótipos de sorgo biomassa 201934B002 e 201934B009, que superaram híbridos comerciais. Quanto às características PMV e PMS, ambas demonstraram alta produtividade (PMV= 95 t ha<sup>-1</sup> e PMS= 38 t ha<sup>-1</sup>), estimulando estudos posteriores com essa cultura.

Em estudo comparativo de diferentes fontes de biomassa, Marafon et al. (2017) relata que o genótipo híbrido comercial BRS 716 obteve resultado para peso de massa seca (PMS) 35,3 t ha<sup>-1</sup>, na região de Tabuleiros Costeiros, Rio Largo, estado de Alagoas - AL.

Esses estudos reforçam a necessidade de maiores experimentos com sorgo biomassa, uma vez que a cultura é amplamente adaptada às diferentes regiões do Brasil e possui potencial de crescimento ainda maior.

### **2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO DO SORGO BIOMASSA**

O melhoramento genético de plantas é composto por um conjunto de ações que irão auxiliar na tomada de decisão para a implantação da lavoura. Para culturas autógamas, como é o caso do sorgo, é necessário conhecimento sobre informações relacionadas ao desempenho de linhagens *per si*, uma vez que essas culturas

apresentam pequena depressão por endogamia, quando são utilizados métodos de melhoramento baseados em autofecundação para desenvolvimento de linhas puras. Além disso, essas culturas apresentam uma pequena taxa de cruzamento natural, que varia em função do genótipo e do ambiente, de 2 a 10% (Souza, 2011).

Para o melhoramento do sorgo, independentemente do tipo de sorgo a ser trabalhado, o pesquisador melhorista deve ter pleno conhecimento do desempenho de linhagens, pois tal conhecimento irá auxiliar na identificação, na quantificação e na caracterização da variabilidade genética, presente em materiais que possam ser utilizados para definir indivíduos mais adaptados e produtivos para determinadas áreas de produção (Vendruscolo, 2016).

Com a ampla gama de recursos genéticos disponíveis para a espécie, estratégias de melhoramento clássico podem ser traçadas, contribuindo para a seleção de genótipos – junto com a biotecnologia –, a cultura de tecidos e os marcadores moleculares, possibilitando que essa cultura seja melhorada com os mais diversos focos (Damasceno, 2011). Segundo Tabosa et al. (2021), além da busca para a geração de genótipos mais adaptados e produtivos, estudos desenvolvem materiais direcionados aos fatores ambientais adversos, como, estresse hídrico, salinidade do solo e temperaturas elevadas.

Em sua maioria, os programas de melhoramento do sorgo priorizam a busca pela maximização da produção de biomassa por unidade de área plantada, devido à necessidade de minimizar o uso de áreas cultiváveis. Com esse intuito, Parrella et al. (2011), por meio do programa de melhoramento genético de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo, desenvolveram híbridos de sorgo biomassa com sensibilidade ao fotoperíodo, com elevado potencial produtivo e com genótipos, em ensaio experimentais, ultrapassando 50 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca por ciclo.

Em um estudo anterior, Parrella et al. (2010) afirmam que o controle da sensibilidade ao fotoperíodo e da maturação da planta está diretamente relacionado à presença, ou não, de dois alelos em seis *loci*. Tais dados corroboram com a necessidade de maximização de produção e de uso do conhecimento do genoma da espécie; e de técnicas que proporcionam alternativas práticas para o melhoramento do sorgo biomassa.

Segundo Tabosa et al. (2021), além da busca para a geração de genótipos mais adaptados e produtivos, estudos desenvolvem materiais direcionados aos

fatores ambientais adversos, como, estresse hídrico, salinidade do solo, tolerância e resistência às doenças e às temperaturas elevadas. A partir dos objetivos e dos recursos genéticos disponíveis, o pesquisador melhorista pode selecionar o germoplasma-elite para o desenvolvimento do estudo e, provavelmente, outro germoplasma suplementar que contribuirá como fonte de variabilidade adicional (Souza, 2011).

Os recursos genéticos são organizados mundialmente em forma de coleção em Bancos de Germoplasma, que são trocados ou/e disponibilizados. No Brasil, o Banco de Germoplasma de Sorgo do IPA teve início no ano de 1973. Sua criação foi simultânea ao programa denominado Sorgo e Milheto (PSM) na região Nordeste, com o apoio financeiro de diversas entidades (Tabosa et al., 2021). Outro Banco de Germoplasma de Sorgo é o da Embrapa Milho e Sorgo, no qual são conservadas diversas linhagens com diferentes denominações: linhagens restauradoras (R), linhagens A (macho-estéril), linhagens B (mantenedoras), entre outras (Martins Netto, 2010).

É de fundamental importância a diversificação das opções cultivares de sorgo. Tal ação tem o intuito de promover maior competitividade no âmbito da cadeia produtiva, por meio do processo de seleção de indivíduos superiores. Através de ensaios regionais, realizados anualmente nas diversas regiões do Brasil, a Embrapa Milho e Sorgo, juntamente com as empresas estaduais, almeja avaliar cultivares, tanto pelas variedades como pelos híbridos experimentais, de modo que atenda a demanda de informações sobre o Sorgo pela população (Almeida Filho, 2012).

## **2.4 INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES (INTERAÇÃO G X A)**

O estudo da interação Genótipo x Ambiente (G X A) é de suma importância para o melhoramento de plantas, em virtude da possibilidade de um genótipo se expressar melhor em um ambiente e não em outro, fato que pode dificultar a recomendação de cultivares para ambientes diversos. As possíveis causas da interação têm sido atribuídas a fatores intrínsecos a cada genótipo, de caráter fisiológico ou bioquímico (Cruz et al., 2012).

Segundo Cruz et al. (2012), as interações podem ser classificadas em simples e complexas. A primeira proporciona diferença entre os genótipos nos ambientes, de

modo que não haja alteração na posição relativa dos genótipos, ou seja, os melhores genótipos de determinado ambiente continuam sendo também em outro. Tal interação não acarreta problemas ao pesquisador melhorista quanto às etapas de seleção e recomendação de cultivares, uma vez que é proporcional à variabilidade genética presente nos genótipos.

Já a interação complexa, é dada pela falta de correlação entre os genótipos nos diferentes ambientes. Ou seja, um dado genótipo se expressa melhor em um ambiente, mas, em outro ambiente, apresenta um comportamento inferior, dificultando o trabalho do pesquisador melhorista que necessita diversificar sua seleção e consistência na superioridade dos genótipos estudados (Cruz et al., 2012). Nesse caso, a interação Genótipos x Ambientes não interfere apenas na recomendação de cultivares, mas também dificulta o trabalho do pesquisador melhorista, que precisa adotar critérios diferenciados para selecionar genótipos superiores e usar métodos alternativos de identificação de material de alto potencial genético.

Robertson (1959 apud Cruz; Castoldi, 1991) propôs uma metodologia de avaliação da interação Genótipos x Ambientes (G X A), denominada de metodologia tradicional, para ser usada quando essa interação se apresenta significativa para diferentes ambientes estudados. A decomposição dos componentes de variância, associada à interação, é dada matematicamente para a parte simples, por  $S = 0,5 (Q_1 + Q_2)^2$ . Já para a parte complexa, pode ser decomposta matematicamente por  $C = (1 - r) Q_1 Q_2$ , em que  $Q_1$  e  $Q_2$  se referem aos quadrados médios dos genótipos nos ambientes 1 e 2, respectivamente, e  $r$  é a correlação entre as médias de genótipos nos dois ambientes (Souza, 2004).

Com o intuito de avaliar a metodologia tradicional, Cruz e Castoldi (1991), realizaram um estudo com os genótipos de feijão, avaliando 14 caracteres agrônômicos em dois ambientes distintos. A partir dos resultados alcançados, puderam concluir que a metodologia tradicional não atendia às necessidades reais, sendo, portanto, inadequada para a utilização em programas de melhoramento genético. Diante disso, foi proposto o fracionamento dessa interação.

Esse fracionamento foi dividido em partes simples e complexas, uma vez que a somatória de ambas atinja o nível 100, ou 1, e sejam complementares. Com base no estudo de simulação, os autores conseguiram com êxito propor uma nova decomposição do quadrado médio da interação, que é dada pela seguinte expressão

matemática, para a parte complexa da interação  $\sqrt{(1-r)^3} Q_1 Q_2$  (sendo  $r$  = coeficiente de correlação das médias dos genótipos nos ambientes distintos,  $Q_1$  e  $Q_2$  = quadrado médio de genótipos nos ambientes 1 e 2, respectivamente); e  $1 - \sqrt{(1-r)^3} Q_1 Q_2$ , para a parte simples. Além de suprir as necessidades do melhoramento genético, a nova decomposição se mostrou de fácil interpretação para a análise de dados experimentais disponíveis (Cruz; Castoldi, 1991).

A metodologia de Cruz e Castoldi (1991) está presente em estudos de diversas culturas, com o intuito de verificar a importância da interação em programas de melhoramento de cultivo. Torga (2011) buscou identificar genótipos de feijão – comum na região central e centro-sul do país –, em diferentes épocas de plantio, em diferentes anos, por meio dessa metodologia. Assim como Peluzio et al. (2010), que também utilizaram essa metodologia com o intuito de identificar a parte complexa da interação Genótipos x Ambientes (G X A) em ensaios de competição de cultivares de soja em três ambientes no estado de Tocantins - TO.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 LOCAIS E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS**

Este estudo foi conduzido em dois ambientes distintos do estado do Mato Grosso - MT, sendo um experimento conduzido na cidade de Cáceres, no campo experimental do Laboratório de Recurso Genéticos & Biotecnologia da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), situado na Cidade Universitária, no campus Cáceres; com as coordenadas 16°07'66" Sul e 57°65'29" Oeste, a 126 metros de altitude. O segundo experimento foi conduzido na cidade de Sinop, no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Agrossilvipastoril, com as coordenadas 11°51' Sul, 55°35' Oeste, numa altitude média de 384 metros (Freitas et al., 2015). As semeaduras foram realizadas nos períodos de novembro a dezembro, compreendendo o período das chuvas nas referidas regiões.

#### **3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO**

O experimento foi implantado em ambas as áreas sob sistema sequeiro, sendo a área preparada previamente, submetida à análise de solo, à gradagem e ao nivelamento do solo. Os tratos culturais dos genótipos avaliados durante o estudo foram os mesmos em ambos os ambientes, sendo realizado o desbaste de plantas, a adubação de sulco e cobertura, o manejo de plantas daninhas, pragas e doenças, de acordo com a recomendação da Embrapa Milho e Sorgo.

#### **3.3 GENÓTIPOS E CARACTERES AGRONÔMICOS AVALIADOS**

Foram avaliados vinte e dois genótipos de sorgo biomassa, conforme Tabela 1, dentre esses, dois são genótipos comerciais, BRS 716 e AGRI002E, também conhecido popularmente como sorgo boliviano gigante. Os demais genótipos são experimentais, desenvolvidos pelo programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas - MG.

**Tabela 1.** Genótipos de sorgo biomassa avaliados nos dois municípios do estado de Mato Grosso – MT, nos municípios de Cáceres e Sinop, com suas respectivas codificações, classificações e procedências

<b>Código</b>	<b>Genótipo</b>	<b>Classificação</b>	<b>Procedência</b>
1	CMSXS7200	Experimental	Embrapa
2	CMSXS7045	Experimental	Embrapa
3	CMSXS7034	Experimental	Embrapa
4	CMSXS7036	Experimental	Embrapa
5	CMSXS7046	Experimental	Embrapa
6	CMSXS7047	Experimental	Embrapa
7	201934B008	Experimental	Embrapa
8	201934B009	Experimental	Embrapa
9	201934B010	Experimental	Embrapa
10	201934B011	Experimental	Embrapa
11	201934B012	Experimental	Embrapa
12	201934B013	Experimental	Embrapa
13	201934B014	Experimental	Embrapa
14	201934B015	Experimental	Embrapa
15	201934B016	Experimental	Embrapa
16	201934B018	Experimental	Embrapa
17	202029B018	Experimental	Embrapa
18	202029B019	Experimental	Embrapa
19	202029B020	Experimental	Embrapa
20	CMSX57500	Experimental	Embrapa
21	BRS 716	Comercial	Embrapa
22	AGRI002E	Comercial	Agricom Seeds

Foram mensuradas quatro características agrônômicas nas parcelas experimentais:

- Altura de Planta (ALT): foi mensurada do nível de solo ao ápice de cinco plantas competitivas da área útil da parcela no dia da colheita e realizado o cálculo de média para obtenção dessa medida.
- Umidade: foi obtida através da subtração do percentual total da massa verde (100%) e do percentual de matéria seca.
- Produção de Massa Verde (PMV): foi obtida pela pesagem de todas as plantas inteiras – cortadas a 10 cm do solo ainda com panícula, da área útil da parcela –, por meio de uma balança de gancho digital, sendo a massa verde da parcela mensurada inicialmente em Kg e, depois, convertida para t/ha.
- Produção de Matéria Seca (PMS): amostra de matéria verde da parte aérea da planta que foi coletada e pesada no momento da colheita. Primeiramente, esse peso foi dado em gramas, e, em seguida, essa amostra foi isolada em um saco

de papel com a descrição da identificação, conforme o tratamento realizado. Todas as amostras foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada por 72 horas, à 65° C. Após a secagem, a amostra foi pesada novamente, obtendo assim o peso de massa seca da amostra. O valor obtido foi convertido para percentual, por meio da fórmula  $\%MS = MS * 100 / MV$ , em que MS e MV, referem-se a peso seco da amostra e massa verde da amostra no momento da colheita, respectivamente. Esse percentual foi multiplicado pela Produção de Massa Verde (PMV), para estimar o peso seco da parcela estudada. Por fim, os dados obtidos de cada parcela foram convertidos em  $t\ ha^{-1}$  para cada tratamento.

### 3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Este estudo foi elaborado em Delineamento de Blocos Casualizado (DBC), com três repetições, em esquema fatorial 22 x 2, sendo 22 genótipos de sorgo biomassa e 2 ambientes de plantio – os municípios de Cáceres e Sinop, em Mato Grosso - MT –, totalizando 132 parcelas experimentais. Cada parcela experimental útil foi composta por duas linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas por 0,7 metros entre linhas.

A partir dos dados das diferentes características morfoagronômicas dos genótipos obtidas em cada ambiente, realizou-se uma análise de variância conjunta (ANOVA conjunta) de ambos os experimentos (Ambientes). O modelo genético-estatístico utilizado no estudo foi:

$$Y_{ijk} = \mu + B/A_{jk} + G_i + A_j + GA_{ij} + e_{ijk}$$

Onde:

$Y_{ijk}$  = refere-se à observação da característica no k-ésimo bloco, avaliada do j-ésimo ambiente no i-ésimo genótipo;

$\mu$  = é a média geral;

$G_i$  = efeito do i-ésimo genótipo, sendo este considerado fixo;

$A_j$  = efeito do j-ésimo ambiente, sendo este considerado fixo;

$GA_{ij}$  = efeito da interação entre i-ésimo genótipo e o j-ésimo ambiente, sendo este considerado fixo;



$A/B_{jk}$  = efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente, sendo este considerado aleatório; e

$e_{ijk}$  = efeito do erro experimental, onde está associado as observações de ordem  $ijk$ , sendo considerado aleatório.

Nesse modelo, todos os efeitos foram considerados fixos, com exceção do efeito do bloco e do erro, conforme Tabela 2.

**Tabela 2.** Esquema da análise de variância com as respectivas Fontes de Variação (FV); Graus de Liberdade (GL); Quadrados Médios (QM), Esperanças de Quadrado Médios [E(QM)]; e estatística (F), utilizados na avaliação do estudo

FV	GL	QM	E (QM)	F
Blocos/Ambientes	(b -1) a	QMB	$\sigma^2 + g\sigma_b^2$	
Ambientes (A)	a - 1	QMA	$\sigma^2 + g\sigma_b^2 + gr\phi_a$	QMA/QMB
Genótipos (G)	g - 1	QMG	$\sigma^2 + ar\phi_g$	QMG/QMR
G X A	(a - 1) (g - 1)	QMGA	$\sigma^2 + r\phi_{ga}$	QMGA/QMR
Resíduos	(g - 1) (b - 1) a	QMR	$\sigma^2$	
Total	bga - 1			

a = número de ambientes; b = número de blocos; e g = número de genótipos.

Após a obtenção dos resultados da ANOVA conjunta, as médias dos genótipos para as características avaliadas foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). Além disso, para as características cuja interação G X A foi significativa, foi realizado o desdobramento de genótipos dentro de ambientes (GEN/AMB) e de ambientes dentro de genótipos (AMB/GEN), e a decomposição da interação em suas partes simples e complexas, seguindo a proposta de Cruz e Castoldi (1991). Todas as análises citadas anteriormente foram realizadas através do software estatístico Genes (Cruz, 2013), seguindo as recomendações de Cruz et al. (2012).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo, todas as características estudadas apresentaram interação significativa entre Genótipos e Ambientes, conforme Tabela 3, pelo teste F. Ao serem analisados os desdobramentos das interações dos genótipos dentro de ambientes (GEN/AMB1 e GEN/AMB2), foi notado que, para todas as características estudadas, existe uma variabilidade genética do material, possibilitando uma seleção de genótipos de interesse para cada ambiente.

No entanto, para uma seleção e recomendação segura de genótipos para distintos ambientes, a possibilidade de encontrar um ou mais genótipos passíveis de recomendação para todos os ambientes dependerá da complexidade da interação G X A. Em caso de confirmação de maior percentual de interação complexa, é possível que uma apresentação seja de melhor desempenho de determinado genótipo em uma região e de um resultado mediano ou inferior em outra região, nos casos de seleção e recomendação de diferentes genótipos para os ambientes.

Quanto ao desdobramento da interação Genótipos dentro de Ambientes (GEN/AMB1 E GEN/AMB2), para a característica Altura de Plantas (ALT), com exceção apenas do genótipo 17 (202029B018), todos os demais demonstraram alturas distintas nos dois ambientes, demonstrando influência do ambiente no porte destes genótipos. Para as demais características, que também apresentaram interação GXA significativa, foi feita uma análise dos resultados do desdobramento de ambientes dentro de genótipos, conforme Tabela 3. Para Umidade, 13 genótipos não mostraram diferenças de suas médias nos dois ambientes. Já para a Produção de Massa Verde (PMV), 11 genótipos não apresentaram alteração no valor das médias, em função do ambiente. Por fim, no caso de Produção de Massa Seca (PMS), 9 genótipos não sofreram alteração em suas médias, devido ao ambiente.

Os coeficientes de variação (CV) observados nos resultados da análise de variância para as características avaliadas, conforme Tabela 3, estão dentro de valores encontrados nos trabalhos que avaliaram o sorgo (André, 2021; Porto, 2021). No atual estudo, a característica PMV obteve CV de 16,61%, valor inferior ao encontrado por André (2021), que foi de 19,78%, assegurando a maior homogeneidade dos dados obtidos no estudo. O mesmo reflete nos dados de PMS, cujo CV foi de 17,20%, menor do que o encontrado por Fortes et al. (2018), de 19,51%.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância com os respectivos Quadrados Médios (QM) e Graus de Liberdade (GL) e estimativas dos Coeficientes de Variação (CV) e das médias, para Altura de Plantas (AP), Umidade, Produção de Massa Verde (PMV), Produção de Massa Seca (PMS), de 22 genótipos de sorgo cultivados em diferentes ambientes de Mato Grosso - MT, Safra 2020/2021

FV	GL	Quadrado Médio			
		Altura	Umidade	PMV	PMS
BLOCOS/AMB	4	0,097	11,377	48,291	6,151
GENÓTIPOS	21	1,443 **	55,756 **	1132,51 **	151,99 **
AMBIENTES	1	30,202 **	305,33 **	2934,91 **	774,12 **
GENxAMB	21	0,211 **	31,453 **	527,161 **	74,892 **
GEN/AMB	42	0,827 **	43,605 **	829,838 **	113,44 **
GEN/AMB 1	21	1,104 **	50,943 **	666,316 **	96,271 **
GEN/AMB 2	21	0,551 **	39,266 **	993,359 **	130,61 **
AMB/GEN	22	1,575 **	43,903 **	636,603 **	106,67 **
AMB/GEN 1	1	3,067 **	0,747 ns	16,345 ns	2,366 ns
AMB/GEN 2	1	0,785 **	3,073 ns	20,179 ns	0,507 ns
AMB/GEN 3	1	0,960 **	24,859 *	82,055 ns	1,596 ns
AMB/GEN 4	1	0,534 **	9,538 ns	26,857 ns	0,397 ns
AMB/GEN 5	1	2,148 **	1,066 ns	1101,16 **	146,52 **
AMB/GEN 6	1	0,602 **	15,644 ns	53,504 ns	0,0428 ns
AMB/GEN 7	1	0,470 **	182,55 **	1273,99 **	324,66 **
AMB/GEN 8	1	0,256 *	229,15 **	1849,24 **	99,298 **
AMB/GEN 9	1	0,984 **	0,0268 ns	59,726 ns	7,6035 ns
AMB/GEN 10	1	1,591 **	24,923 *	261,762 ns	3,865 ns
AMB/GEN 11	1	3,776 **	18,609 ns	1407,10 **	199,25 **
AMB/GEN 12	1	0,583 **	38,306 *	52,934 ns	43,012 *
AMB/GEN 13	1	2,331 **	119,06 **	1106,75 **	350,35 **
AMB/GEN 14	1	1,696 **	104,39 **	213,709 ns	120,22 **
AMB/GEN 15	1	2,306 **	9,136 ns	166,201 ns	40,273 *
AMB/GEN 16	1	1,179 **	1,121 ns	809,557 **	108,35 **
AMB/GEN 17	1	0,184 ns	2,579 ns	582,839 **	49,352 *
AMB/GEN 18	1	1,153 **	0,0004 ns	1726,60 **	216,394 **
AMB/GEN 19	1	0,667 **	20,934 ns	534,082 *	33,209 ns
AMB/GEN 20	1	2,394 **	12,032 ns	77,226 ns	17,61 ns
AMB/GEN 21	1	3,450 **	49,803 **	2022,09 **	389,63 **
AMB/GEN 22	1	3,527 **	98,307 **	561,372 **	192,323 **
RESÍDUO	84	0,060	5,776	79,169	10,178
TOTAL	131				
MÉDIA		4,57 m	65,47 %	53,6 t ha <sup>-1</sup>	18,5 t ha <sup>-1</sup>
CV (%)		5,369	3,6707	16,614	17,206

\*, \*\*, ns significativos a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

A interação Genótipo x Ambiente (G X A) é uma parte fundamental do melhoramento de plantas. Na cultura do sorgo, é possível existir divergência entre genótipos para os distintos ambientes estudados. As principais características agronômicas avaliadas para sorgo biomassa são Produção de Massa Verde (PMV) e Produção de Massa Seca (PMS). Tais características, consideradas características poligênicas, são controladas por mais de um gene, cujos alelos, de forma independente, exercem pequeno efeito sobre o fenótipo, sendo sua expressão fortemente influenciada pelo ambiente (Falconer; Mackay, 1996).

Os resultados da interação nos dois ambientes, Cáceres e Sinop, com exceção da altura, foram predominantemente complexos para as demais características, conforme Tabela 4, o que proporciona maior dificuldade na seleção de genótipos para lançamento comercial, uma vez que são necessários maior número de ensaios e análises para identificação de indivíduos superior e produtivos para as distintas áreas de produção, conforme Tabela 4. Todavia, a existência de interação GXA também indica existência de variabilidade genética, o que contribui para a produção de híbridos. Para Cruz e Castoldi (1991), a interação complexa é dada pela ausência de correlação entre os genótipos em ambientes distintos.

**Tabela 4.** Estimativa média da interação Genótipo x Ambiente (G X A), percentuais da parte simples e complexa em relação às características avaliadas: Umidade (UM), Altura de Plantas (ALT), Produção de Massa Verde (PMV) e Produção de Massa Seca (PMS)

Parte de interação (%)	Características			
	ALT	Umidade	PMV	PMS
Simple	64,49	16,98	23,21	20,41
Complexa	35,51	83,02	76,79	79,59

Buscando identificar híbridos detentores de características morfoagronômicas de interesse para programas de melhoramento, foi realizado o agrupamento das médias de cada híbrido avaliado pelo método de Scott-Knott ( $P > 0,05$ ). Sendo, assim, apresentadas para as diferentes características avaliadas: representadas por letras maiúsculas quanto às médias entre os ambientes; e por letras minúsculas quanto às médias de dentro de um mesmo ambiente, conforme Tabela 5.

Avaliando a característica Altura de Plantas (ALT), dentro de cada ambiente, foi possível verificar que o ambiente Sinop obteve média geral superior ao de Cáceres,

sendo de 5,05 metros e 4,09 metros, respectivamente. Ainda dentro do ambiente Sinop, nota-se que as médias dos genótipos foram distribuídas em cinco grupos, variando de 5,51 metros, para o genótipo 202029B020, a 3,8 metros, sendo a menor média para o genótipo CMSXS7045, conforme os dados da Tabela 5.

A característica ALT está relacionada com o acamamento e a produção de massa seca das plantas. Controlada por genes que atuam de forma independente, é utilizada como indicador útil de produção de matéria seca. No período vegetativo de híbridos sensíveis ao fotoperíodo, ela é superior, permitindo maior crescimento das plantas e ganhos de massa verde (Wigt et al., 2012). Em contrapartida, quanto maior o crescimento vegetativo, maior as chances de acamamento, uma vez que plantas muito altas tendem a produzir panículas muito pesadas, elevando os índices de perdas. Parrella et al. (2011), ao testar genótipos e híbridos de sorgo em diferentes ambientes, obtiveram resultados que variaram de 5,50 a 2,77 metros.

A Umidade encontrada no estudo apresentou uma média inferior para Sinop (63,95%), em relação a Cáceres (66,99%). É uma característica diretamente relacionada com o poder calorífico, uma vez que o processo de secagem de materiais para posterior queima pode ser oneroso e pode até mesmo inviabilizar a utilização da biomassa, sendo fundamental para auxiliar na tomada de decisão para a implantação da lavoura (Castro, 2014). O bagaço de cana-de-açúcar é o principal material utilizado para queima, sendo recomendado a utilização com Umidade variando em torno de 20% para queima (Silva; Morais, 2008). Para o sorgo biomassa, em sua colheita, é recomendado que atinja o menor nível possível. Neste estudo, os genótipos 201934B011 (59,2%) e CMSXS7036 (59,8%), para Cáceres, e 201934B009 (55,1%) e CMSXS7036 (57,32%), para Sinop, apresentaram menores taxas de Umidade em condição de campo, sendo que o genótipo CMSXS7036, coincidentemente, apresentou menores taxas nos dois ambientes. Ambos os materiais são possíveis candidatos para uma utilização em posteriores programas de melhoramento, visando a redução de Umidade em híbridos produtivos.

Os maiores resultados encontrados para Umidade foram para os genótipos 201934B014 (72,8%), em Cáceres, e CMSXS7045 (70,2%), em Sinop, conforme Tabela 5. Não sendo recomendada a utilização destes genótipos para a finalidade de redução de Umidade em programas posteriores, uma vez que pode ser inviável a utilização desse plantio como biomassa para fins de queima e cogeração de energia.

**Tabela 5.** Média das características avaliadas em 22 genótipos de sorgo cultivados em dois ambientes diferentes do estado de Mato Grosso - MT, na safra 2020/2021

GENÓTIPOS	ALTURA (m)		Umidade (%)		PMV (tha <sup>-1</sup> )		PMS (tha <sup>-1</sup> )									
	CÁCERES	SINOP	CÁCERES	SINOP	CÁCERES	SINOP	CÁCERES	SINOP								
CMSXS7200	2,66	B e	4,09	A c	65,82	A b	66,53	A a	26,444	A d	23,143	A d	9,002	A d	7,746	A c
CMSXS7045	3,07	B d	3,79	A c	71,60	A a	70,17	A a	35,620	A d	31,952	A d	10,118	A d	9,537	A c
CMSXS7034	4,09	B b	4,89	A a	67,68	A b	63,61	B b	42,682	A c	35,286	A c	13,818	A c	12,787	A c
CMSXS7036	4,47	B b	5,06	A a	59,84	A c	57,32	A d	49,231	A c	45,000	A c	19,717	A b	19,202	A b
CMSXS7046	3,72	B c	4,92	A a	62,16	A c	63,01	A b	27,667	B d	54,762	A b	10,440	B d	20,323	A b
CMSXS7047	4,77	B a	5,41	A a	63,68	A b	60,45	A c	60,877	A b	54,905	A b	21,907	A b	21,738	A b
201934B008	4,64	B a	5,20	A a	74,00	A a	62,97	B b	35,809	B d	64,952	A b	9,304	B d	24,016	A b
201934B009	4,54	B b	4,96	A a	67,50	A b	55,14	B d	62,016	A b	26,905	B d	20,175	A b	12,038	B c
201934B010	4,42	B b	5,23	A a	64,82	A b	64,68	A b	50,309	A c	56,619	A b	17,762	A c	20,013	A b
201934B011	4,29	B b	5,32	A a	59,16	B c	63,23	A b	73,218	A b	86,429	A a	29,858	A a	31,464	A a
201934B012	3,53	B c	5,12	A a	70,32	A a	66,80	A a	38,991	B d	69,619	A b	11,553	B d	23,078	A b
201934B013	4,40	B b	5,02	A a	71,68	A a	66,62	B a	66,536	A b	72,476	A b	18,818	B b	24,173	A b
201934B014	3,89	B c	5,13	A a	72,82	A a	63,91	B b	60,694	B b	87,857	A a	16,316	B c	31,599	A a
201934B015	4,20	B b	5,27	A a	72,32	A a	63,98	B b	52,016	A c	63,952	A b	14,062	B c	23,015	A b
201934B016	3,90	B c	5,14	A a	66,18	A b	63,71	A b	45,283	A c	55,810	A b	15,069	A c	20,250	A b
201934B018	4,35	B b	5,23	A a	65,82	A b	64,96	A b	44,435	B c	67,667	A b	15,271	B c	23,770	A b
202029B018	5,06	A a	5,41	A a	65,77	A b	64,46	A b	87,521	A a	67,810	B b	29,809	A a	24,073	B b
202029B019	4,56	B b	5,43	A a	64,18	A b	64,17	A b	32,739	B d	66,667	A b	11,861	B d	23,872	A b
202029B020	4,84	B a	5,51	A a	63,02	A b	66,75	A a	42,512	B c	61,381	A b	15,730	A c	20,435	A b
CMSXS7500	3,22	B d	4,48	A b	67,17	A c	70,00	A a	48,747	A c	41,571	A c	15,979	A c	12,553	A c
BRS716	3,79	B c	5,31	A a	69,58	A b	63,82	B b	47,427	B c	84,143	A a	14,457	B c	30,574	A a
AGRI002E	3,76	B c	5,30	A a	68,79	A a	60,69	B c	43,702	B c	63,048	A b	13,630	B c	24,953	A b
Média	4,098		5,05		66,99		63,95		48,84		58,271		16,00		20,964	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não apresentam diferença estatística, pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

As médias gerais de Produção de Massa Verde (PMV) encontradas neste estudo foram 48,84 t ha<sup>-1</sup> para Cáceres, e 58,27 t ha<sup>-1</sup> para Sinop. O PMV é uma característica dependente de diversos fatores e altamente influenciada por outras características e ambientes, como Altura de Plantas (ALT), por exemplo. Sendo um fator importante na identificação de híbridos em potencial, o PMV consegue representar a capacidade produtiva de massa seca de indivíduos em experimentos (Castro, 2014). Representatividade essa, expressa neste trabalho, em que os híbridos com maior PMV também apresentaram maiores Produção de Massa Seca (PMS).

Os principais indivíduos encontrados no estudo, com elevado PMV na safra 2020/2021, são: 202029B018 (87,521 t ha<sup>-1</sup>), 201934B011 (73,218 t ha<sup>-1</sup>) e 201934B013 (66,536 t ha<sup>-1</sup>), para Cáceres; e 201934B014 (87,857 t ha<sup>-1</sup>), 201934B011 (86,429 t ha<sup>-1</sup>) e BRS716 (84,143 t ha<sup>-1</sup>), para Sinop. Resultados superiores aos encontrados na Safra 2014/2015 por Silva et al. (2016), que avaliaram 34 genótipos de sorgo nos ambientes de Cáceres e Sinop, Mato Grosso - MT. Esses autores obtiveram Produção de Massa Verde (PMV) de 72,01 t ha<sup>-1</sup> e 67,34 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para Cáceres e Sinop.

Resultados semelhantes aos encontrados em um estudo realizado posteriormente, na Safra de 2019/2020, por André (2021), em que encontrou média de PMV de 68,6 t ha<sup>-1</sup> e 73,2 t ha<sup>-1</sup>, para Cáceres e Sinop, respectivamente. O avanço do melhoramento genético na região de Cáceres e Sinop tem proporcionado ganhos em híbridos de sorgo biomassa, onde indivíduos em condição de campo atingiram resultados próximos aos encontrados por Parrella et al. (2021), de 100 t ha<sup>-1</sup> de PMV em condições experimentais.

A Produção de Matéria Seca (PMS) é uma das características diretamente relacionadas ao potencial de produção de energia. No presente estudo, quatro híbridos sobressaíram em relação aos demais híbridos trabalhados em ambos os ambientes. Para Cáceres, dois híbridos apresentaram potencial de produção de PMS, sendo esses 201934B011 (29,858 t ha<sup>-1</sup>) e 202029B018 (29,809 t ha<sup>-1</sup>). Já para Sinop, três híbridos conseguiram demonstrar elevados potenciais produtivos, sendo esses o 201934B011 (31,464 t ha<sup>-1</sup>), 201934B014 (31,599 t ha<sup>-1</sup>) e BRS716 (30,574 t ha<sup>-1</sup>). Nota-se que o híbrido 201934B011 expressa potencial em ambos os ambientes, sendo o mais indicado para estudos posteriores.

Como médias gerais, Cáceres obteve menores resultados do que Sinop, sendo 16,12 t ha<sup>-1</sup> e 20,96 t ha<sup>-1</sup>. Os híbridos que apresentaram valores superiores para PMS também apresentaram valores superiores para PMV, o que contribui para programas de melhoramento que buscam indivíduos com maior número de características superiores que os demais indivíduos. Parrella et al. (2021) cita que o sorgo possui potencial de atingir patamares de produção acima de 30 t ha<sup>-1</sup>. No entanto, mesmo a média deste trabalho não tendo atingido tal valor, foi possível perceber que existem híbridos capazes de atingir esses patamares.

Ao analisarmos a interação dos Genótipos x Ambiente (G X A), podemos notar que o genótipo 201934B011 se sobressaiu em relação a PMV e PMS para ambos os ambientes estudados; e Umidade, para Cáceres, sendo este passível de recomendação para ambas as cidades de Cáceres e Sinop, Mato Grosso - MT. Ao analisar escolhas individuais dentro dos ambientes, para a cidade de Cáceres, o genótipo 202029B018 se sobressaiu, juntamente com o 201934B011, possuindo maior PMS. Já para o ambiente Sinop, nota-se que é possível identificar três materiais passíveis de recomendação específica, sendo estes 201934B011 e 201934B014, sendo híbridos, e BRS716 como um cultivar comercial.

A utilização de materiais específicos para as diferentes regiões dependerá do objetivo de sua instalação, entretanto, ambos os materiais citados anteriormente possuem potencial produtivo para PMV e PMS. Em virtude da variabilidade genética presente no estudo, é de fundamental importância que estudos de interação Genótipos x Ambientes (G X A) sejam realizados de maneira contínua, identificando assim materiais com maior potencial, passíveis de atender a demanda crescente na atualidade.



## 5. CONCLUSÕES

O genótipo 201934B011 se destaca entre os avaliados com produtividades de matéria seca de 29,858 t ha<sup>-1</sup> e 31,464 t ha<sup>-1</sup>, para Cáceres e Sinop, respectivamente.

Além do 201934B011, especificamente para o ambiente Cáceres, se destacam o 201934B011 e 202029B018, enquanto para Sinop, sobressaíram, dois híbridos experimentais, 201934B011 e 201934B014, e um comercial, BRS 716, todos com produtividades de massa seca superiores a 25 t ha<sup>-1</sup>.

A cultura do sorgo biomassa se apresenta como promissora para produção de biomassa no estado do Mato Grosso com possibilidade de produção igual ou superior a 30 t ha<sup>-1</sup> de massa seca num ciclo inferior a 180 dias.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA FILHO, J. E. de. **Avaliação agrônômica e de estabilidade e adaptabilidade de híbridos de sorgo granífero**. Campos de Goytcazes – Rio de Janeiro: Universidade do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2012. 95 p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- ANDRÉ, V. L. S. **Desempenho agrônômico de genótipos de sorgo biomassa cultivados em distintas regiões do estado de Mato Grosso**. Alta Floresta – Mato Grosso: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2021. 41 p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- BEEVER, D. E.; MOULD, F. L. Forage evaluation for efficient ruminant livestock production. In: GIVEN, D. I.; OWEN, E.; AXFORD, R. F. et al. (Ed.). Forage evaluation in ruminant nutrition. Wallingford: **CAD International Publishing**, p. 15 – 42. 2000.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa: Ed. UFV. 7 ed., 2017. 543 p.
- CASTRO, F. M. R. **Potencial agrônômico e energético de híbridos de sorgo biomassa**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2014. 84 p. (Dissertação – Mestrado acadêmico).
- CONAB. **Conj. Cana-de-açúcar Novembro de 2017**. 10 p. 2017. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cana-de-acucar/item/download/15226\\_f7c2151a4b15c92660031c394b057381](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cana-de-acucar/item/download/15226_f7c2151a4b15c92660031c394b057381). Acesso em 10, setembro, 2021.
- CONAB. **Análise mensal – Cana-de-açúcar Maio de 2017**. 10 p. 2017. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cana-de-acucar/item/download/15220\\_3f5640f9e188e859ccb622bf613f5bca](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cana-de-acucar/item/download/15220_3f5640f9e188e859ccb622bf613f5bca). Acesso em 15, setembro, 2021.
- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, 2022. v. 7, n. 11 {2020}. 66 p.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p. 271-276. 2013.
- CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v. 38, p. 422 – 430. 1991.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Ed. UFV, v. 1, ed. 4, 2012. p.110- 142.
- DAMASCENO, C.M.B. Genômica do sorgo sacarino e análise de marcadores genéticos moleculares. **Agroenergia em Revista**. Brasília – DF, v. 2, n.3, p. 10-11. ago. 2011.
- EMATER/MG. **Cultura do Sorgo**. In: ROSA, W.J. Departamento técnico da Emater. 2012. 6 p.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed.

Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. 464 p.

FORTES, C.; EVARISTO, A. B.; BARROS & PIMENTEL, A. & L. D. Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa nas condições edafoclimáticas do Tocantins. **Energ. Agric.**, Botucatu - SP, v. 33, n.1, p. 27-30. janeiro-março. 2018.

FREITAS, C. M., RAMOS JUNIOR, E. U., SILVA, E. E., TAVARES, G. F., BROGIN, R. L. Competição de cultivares de soja transgênica RR no município de Sinop – MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7.; MERCOSOJA, 2015, Florianópolis. Tecnologia e mercado global: perspectivas para soja. **Anais**. Londrina: Embrapa Soja, 2015.

LANZA, A. L. L. **Avaliação forrageira do sorgo biomassa (BRS 716) em diferentes épocas de corte e estratégias de adubação em cobertura**. Sete Lagoas – Universidade Federal de São José del-Rei, 2017. 73 p. (Dissertação – Mestrado em Ciências Agrárias).

MARAFON, A. C., SANTIAGO, A. D.; MACHADO, J. C.; GUIMARAES, V. dos S.; PAIVA, H. L. **Produção de biomassa em gramíneas tropicais com potencial energético**. Embrapa Tabuleiros Costeiros: Aracaju, 2017. 22 p.

MARTINS NETTO, D. A. **Coleção de base e coleção ativa: o banco de germoplasma de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 28 p.

MAY, A. SILVA, D. D. da; SANTOS, F. C. **Cultivo do sorgo biomassa para cogeração de energia elétrica**. Embrapa Milho e Sorgo: Sete Lagoas – MG.2013. 65 p.

OLIVEIRA, M. S.; PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT, R.E.; SILVA, M. J. da. FRANÇA, A. E. D.; SOUZA, V. F. de. SILVA, R. A. da.; OLIVEIRA, P. C. de; SOUZA, R. S. e.; RABELO, M. M.; SANTOS, C. V. dos. Avaliação e caracterização de híbridos de sorgo biomassa na região de Sete Lagoas. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/BIC JÚNIOR, 8., 2015, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. **Anais ...** Sete Lagoas, 2015.

OLIVEIRA, E. J. M. de; SIMEONE, M. L. F.; ANDRADE, H.; PARRELLA, R. A. da C. Avaliação do poder calorífico de biomassa vegetal produzida a partir de diferentes genótipos de sorgo. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/CNPq, 13., 2018, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. **Anais ...** Sete Lagoas, 2018.

PARISOTTO, D. C. **Desempenho Agrônômico de Genótipos de Sorgo Forrageiro Cultivados em Segunda Safra**. Alta Floresta – Mato Grosso: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2020. 52 p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

PARRELLA, R. A. de C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo biomassa sensíveis a fotoperíodo**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas – MG.2010. 25 p.

PARRELLA, R. A. de C.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A.; EMYGDIO, B.; PORTUGAL, A. F.; DAMASCENO, C. M. B. **Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas – MG.2011. 21 p.

PARRELLA, R. A. de C.; SIMEONE, M. L. F.; PARRELLA, N. N. L. D.; SCHAFFERT, R. E. Cultivares de sorgo para produção de bioenergia. In: MENEZES, C. B. de (ed.). **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF:Embrapa, p. 278-292. 2021.

- PARRELLA, R. A. da C.; MENEZES, C. B. de.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, N. N. L. D.; SCHAFFER, R. E. Cultivares. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L. D.; PARRELLA, R. A., da C. **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, p.169-187. 2014.
- PELUZIO, J. M, AFFERI, F. S.; MONTEIRO, F. J. F., MELO, A. V. de, PIMENTA, R. S. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 427-434. 2010.
- PEREIRA, G. da S. **Mapeamento comparativo de QTLs entre sorgo sacarino e cana-de-açúcar para caracteres bioenergéticos**. Piracicaba – São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015. 35 p. (Tese – Doutorado em Ciências: Genética e Melhoramento de Plantas).
- PINHO, R. G. V.; FIORINI, I. V. A.; SANTOS, A., de O. Botânica. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV. 2014. p. 37-57.
- PORTO, F. L. 2021. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo sacarino**. Alta Floresta – Mato Grosso: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2021. 45 p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- RIBAS, P. M. **Sorgo: introdução e importância econômica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 14 p. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/16217/1/Doc\\_26.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/16217/1/Doc_26.pdf). Acesso em: 17, fevereiro, 2022.
- ROBERTSON, A. **Experimental on the measurement of heritabilities correlations**. Biometrical Genetics. New York: Pergamon Press, 1959. 186 p.
- ROONEY, W. L.; AYDIN, S. Genetic control of a photoperiod-sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Crop Science**, v. 39, n. 2, p. 397-400. 1999.
- SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento do sorgo. In: BORÉM, A. (Ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed. Viçosa – Minas Gerais: Ed. UFV. 2005. p. 429 – 466.
- SILVA, M. J. da; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. de S.; DAMASCENO, C. M. B.; PARRELLA, N. N. L. D.; PASTINA, M. M.; SIMEONE, M. L. F.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C. Evaluation of the potential of lines and hybrids of biomass sorghum. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 379-385. 2018.
- SILVA, M. B. da.; MORAIS, A. dos S. Avaliação energética de bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável: Rio de Janeiro – RJ. **Anais**. Rio de Janeiro: Enegep. 2008. 9 p.
- SILVA, R. S. da; DELFORNO, G. I. S.; BARELLI, M. A. A.; VENDRUSCOLO, T. P. S.; CASTRILON, M. A.; CORREA, C. L.; TARDIN, F. D. Interação genótipo x ambientes em híbridos de sorgo biomassa. In: XXXI Congresso nacional milho e sorgo. Bento Gonçalves: RS, 2016. **Anais ...** Bento Gonçalves, p. 1 – 5. 2016.
- SOUZA, E. D.; PARRELLA, R. A. da C. Produção de biomassa em Roraima. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOMASSA - CIBIO, 4., 2019, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Grupo FRG Mídias & Eventos, 2019. p. 52. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1119249>. Acesso em 17 de fev.

2022.

SOUZA, H. N. de. **Análise AMNI e SREG da interação genótipos x ambientes em milho**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 106 p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento).

SOUZA, V. F. de. **Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino**. Janaúba: Universidade Estadual de Montes Carlos, 2011. 63 p. (Dissertação – Mestrado em Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal no Semiárido).

TABOSA, J. N.; BARRROS, A. H. C.; BRITO, A. R. M. B.; SIMÕES, A. L.; SIMPLICIO, J. B.; CARVALHO, E. X. de; TAVARES, J. A.; RODRIGUES, J. A. S.; NASCIMENTO, M. M. A. do; FRANÇA, J. G. E. de; SANTOS, V. F. dos; MENEZES, C. B. de; TAVARES FILHO, J. J. Melhoramento genético do sorgo para o semiárido brasileiro. In: MENEZES, C. B. de (ed.) **Melhoramento genético do sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 293-340.

TEIXEIRA, J. dos S. **Caracterização de acessos de sorgo-vassoura utilizando descritores morfoagronômicas**. Viçosa - Universidade Federal de Viçosa, 2018. 31p. (Dissertação - Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*).

TORGA, P. P. **Interação de genótipos com ambientes em ensaios de feijoeiro – comum do grupo preto: implicação na recomendação de cultivares**. Goiás: Universidade Federal de Goiás, 2011. 106 p. (Tese – Doutorado em Agronomia).

VENDRUSCOLO, T. P. S. **Desempenho agro energético de genótipos de sorgo biomassa**. Cáceres – Mato Grosso: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2016. 93 p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

WIGHT, J. P.; HONS, F.M.; STORLIN, J. O.; PROVIN, T. L.; SHAHANDEH, H. Management effects on bioenergy sorghum growth, yield and nutrient uptake. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v 46, p. 593-604. 2012.