

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TAYNA LEMOS DE OLIVEIRA CUNHA

**METABÓLITOS SECUNDÁRIOS E TEOR DE NUTRIENTES EM
HÍBRIDOS DE SORGO FORRAGEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TAYNA LEMOS DE OLIVEIRA CUNHA

**METABÓLITOS SECUNDÁRIOS E TEOR DE NUTRIENTES EM
HÍBRIDOS DE SORGO FORRAGEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Orientador: Prof. Dr. Gustavo de Faria Theodoro
Co-Orientador: Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos

Qualificação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2023



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Tayná Lemos de Oliveira Cunha

ORIENTADOR: Dr. Gustavo de Faria Theodoro

TÍTULO: Metabólitos secundários e teor de nutrientes em híbridos de sorgo forrageiro sob déficit hídrico.

AVALIADORES:

Prof. Dr. Gustavo de Faria Theodoro

Prof. Dra. Dthenifer Cordeiro Santana

Prof. Dr. Luis Carlos Vinhas Itavo

Chapadão do Sul, 20 de dezembro de 2023.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo de Faria Theodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 20/12/2023, às 09:53, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Dthenifer Cordeiro Santana, Usuário Externo**, em 20/12/2023, às 10:03, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Luis Carlos Vinhas Itavo, Professor do Magisterio Superior**, em 21/12/2023, às 08:19, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

AGRADECIMENTO

Quero agradecer primeiramente a Deus e a todos os professores, especialmente ao meu orientador Dr Gustavo. Quero agradecer também ao professor Dr Paulo por todo apoio e por me exigir mais do que eu acreditava que seria capaz de realizar, declaro aqui minha eterna gratidão pelo compartilhamento de seu conhecimento e tempo, bem como sua amizade.

À minha família quero agradecer pelo apoio, força, amor e assistência inabalável. Sou grato ao meu marido Mateus que nunca me recusou amor, apoio e incentivo. Obrigado, todo o amor do meu coração, por compartilhar os inúmeros momentos de ansiedade e estresse. Sem você ao meu lado o trabalho não seria concluído.

Gratidão a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Resumo da análise de variância para concentração dos flavonoides daidzeína (D1), daidzina (D2), genisteína (G1) e genistina (G2) avaliados em híbridos (H) de sorgo com e sem déficit hídrico (DF).....	12
FIGURA 2: Comparação de médias para a concentração do flavonóide Daidzeína em híbridos de sorgo em função da presença ou ausência de déficit hídrico.....	13
FIGURA 3: Desdobramento da interação significativa entre híbridos de sorgo forrageiro e déficit híbrido para a concentração do flavonóide daidzina.....	14
FIGURA 4: Comparação de médias para a concentração do flavonóide genistina em híbridos de sorgo em função do déficit hídrico.....	15
FIGURA 5: Resumo da análise de variância para os teores foliares de P, K, Ca, Mg, S, Mn e Zn avaliados em híbridos (H) de sorgo com e sem déficit hídrico (DF).....	16
FIGURA 6: Desdobramento da interação significativa entre híbridos de sorgo forrageiro e déficit híbrido para os teores foliares de P e S.....	17
FIGURA 7: Comparação de médias para o teor foliar de K de híbridos de sorgo em função da presença ou ausência de déficit hídrico.....	18
FIGURA 8: Comparação de médias para os teores foliares de Ca e Mg de híbridos de sorgo em função da presença ou ausência de déficit hídrico.....	19
FIGURA 9: Resumo da análise de variância para o teor de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e material mineral (MM) avaliados em híbridos (H) de sorgo com e sem déficit hídrico (DF).....	20
FIGURA 10: Desdobramento da interação significativa entre híbridos de sorgo e déficit híbrido para o teor de matéria seca (MS).....	20
FIGURA 11: Comparação de médias para o teor de proteína bruta (PB) de híbridos de sorgo em função da presença ou ausência de déficit hídrico.....	21

RESUMO

O estresse hídrico pode comprometer o crescimento e produção do sorgo, principalmente se ocorrer em grande intensidade no estágio reprodutivo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a três híbridos de sorgo forrageiro submetidos a déficit hídrico, para verificar se o mesmo irá interferir na qualidade nutricional da planta. O experimento foi realizado com delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial 3x2 com quatro repetições, com três híbridos de sorgo forrageiro e dois níveis de reposição da água evapotranspirada (50% e 100% de AET). Foram avaliadas as variáveis: isoflavonas daidzeína (D1), daidzina (D2), genisteína (G1) e genistina (G2), determinação dos nutrientes foliares P, K, Ca, Mg, S, Mn e Zn, teor de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e material mineral (MM). As isoflavonas apresentaram teores diferentes entre os híbridos avaliados e sua maior quantidade foi em estresse hídrico do sorgo. Os teores foliares de fósforo e potássio e o teor de matéria seca são influenciados pelo déficit hídrico e híbridos de sorgo forrageiro. O híbrido Agri 002-E obteve maiores médias para estas variáveis em condição de estresse hídrico. As variáveis bromatológicas não foram afetadas pelo déficit hídrico. Os híbridos Brevant SS318 e o BRS 658 obtiveram maior teor de proteína bruta. O híbrido Agri 002-E, que não apenas demonstrou uma maior concentração de daidzeína e genistina, mas também revelou uma resposta mais eficiente à condição de déficit hídrico na concentração de S e P e maior teor de matéria seca. Além disso tal híbrido apresentou maiores valores de Ca e Mg, indicando uma eficiência diferenciada na absorção desses nutrientes

Palavras-chaves: flavonoides; isoflavonas, nutrição mineral, tolerância.

ABSTRACT

Water stress can compromise sorghum growth and production, especially if it occurs at a high intensity during the reproductive stage. The objective of this work was to evaluate three forage sorghum hybrids subjected to water deficit, to verify whether it will interfere with the nutritional quality of the plant. The experiment was carried out using a randomized block design in a 3x2 factorial scheme with four replications, with three forage sorghum hybrids and two levels of evapotranspired water replacement (50% and 100% AET). The variables were evaluated: isoflavones daidzein (D1), daidzin (D2), genistein (G1) and genistin (G2), determination of leaf nutrients P, K, Ca, Mg, S, Mn and Zn, dry matter content (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and mineral material (MM). Isoflavones presented different levels among the hybrids evaluated and their highest quantity was in sorghum water stress. Leaf phosphorus and potassium content and dry matter content are influenced by water deficit and forage sorghum hybrids. The Agri 002-E hybrid obtained higher averages for these variables under water stress conditions. The bromatological variables were not affected by water deficit. The hybrids Brevant SS318 and BRS 658 had a higher crude protein content. The hybrid Agri 002-E, which not only demonstrated a higher concentration of daidzein and genistin, but also revealed a more efficient response to water deficit conditions in the concentration of S and P and higher dry matter content. Furthermore, this hybrid presented higher Ca and Mg values, indicating a different efficiency in the absorption of these nutrients.

Keywords: flavonoids, isoflavones, nutrition, mineral, tolerance.

SUMÁRIO

CAPITULO 1 - METABÓLITOS SECUNDÁRIOS E TEOR DE NUTRIENTES EM HÍBRIDOS DE SORGO FORRAGEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO.....	08
1. RESUMO.....	08
2. ABSTRACT.....	09
3. INTRODUÇÃO	10
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4.1 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	12
4.2 EXTRAÇÃO DAS ISOFLAVONAS	13
4.3 ANÁLISES BROMATOLÓGICAS	14
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	15
5. RESULTADOS DE DISCUSSÃO.....	15
6. CONCLUSÃO.....	25
7. REFERÊNCIAS.....	25

CAPITULO 1

METABÓLITOS SECUNDÁRIOS E TEOR DE NUTRIENTES EM HÍBRIDOS DE SORGO FORRAGEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

O estresse hídrico pode comprometer o crescimento e produção do sorgo, principalmente se ocorrer em grande intensidade no estágio reprodutivo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a três híbridos de sorgo forrageiro submetidos a déficit hídrico, para verificar se o mesmo irá interferir na qualidade nutricional da planta. O experimento foi realizado com delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial 3x2 com quatro repetições, com três híbridos de sorgo forrageiro e dois níveis de reposição da água evapotranspirada (50% e 100% de AET). Foram avaliadas as variáveis: isoflavonas daidzeína (D1), daidzina (D2), genisteína (G1) e genistina (G2), determinação dos nutrientes foliares P, K, Ca, Mg, S, Mn e Zn, teor de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e material mineral (MM). As isoflavonas apresentaram teores diferentes entre os híbridos avaliados e sua maior quantidade foi em estresse hídrico do sorgo. Os teores foliares de fósforo e potássio e o teor de matéria seca são influenciados pelo déficit hídrico e híbridos de sorgo forrageiro. O híbrido Agri 002-E obteve maiores médias para estas variáveis em condição de estresse hídrico. As variáveis bromatológicas não foram afetadas pelo déficit hídrico. Os híbridos Brevant SS318 e o BRS 658 obtiveram maior teor de proteína bruta. O híbrido Agri 002-E, que não apenas demonstrou uma maior concentração de daidzeína e genistina, mas também revelou uma resposta mais eficiente à condição de déficit hídrico na concentração de S e P e maior teor de matéria seca. Além disso tal híbrido apresentou maiores valores de Ca e Mg, indicando uma eficiência diferenciada na absorção desses nutrientes

Palavras-chaves: flavonoides; isoflavonas, nutrição mineral, tolerância.

ABSTRACT

Water stress can compromise sorghum growth and production, especially if it occurs at a high intensity during the reproductive stage. The objective of this work was to evaluate three forage sorghum hybrids subjected to water deficit, to verify whether it will interfere with the nutritional quality of the plant. The experiment was carried out using a randomized block design in a 3x2 factorial scheme with four replications, with three forage sorghum hybrids and two levels of evapotranspired water replacement (50% and 100% AET). The variables were evaluated: isoflavones daidzein (D1), daidzin (D2), genistein (G1) and genistin (G2), determination of leaf nutrients P, K, Ca, Mg, S, Mn and Zn, dry matter content (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and mineral material (MM). Isoflavones presented different levels among the hybrids evaluated and their highest quantity was in sorghum water stress. Leaf phosphorus and potassium content and dry matter content are influenced by water deficit and forage sorghum hybrids. The Agri 002-E hybrid obtained higher averages for these variables under water stress conditions. The bromatological variables were not affected by water deficit. The hybrids Brevant SS318 and BRS 658 had a higher crude protein content. The hybrid Agri 002-E, which not only demonstrated a higher concentration of daidzein and genistin, but also revealed a more efficient response to water deficit conditions in the concentration of S and P and higher dry matter content. Furthermore, this hybrid presented higher Ca and Mg values, indicating a different efficiency in the absorption of these nutrients.

Keywords: flavonoids, isoflavones, nutrition, mineral, tolerance.

INTRODUÇÃO

Diferentes situações ambientais, incluindo a seca, podem afetar significativamente o crescimento das plantas e a sua produção (ZAMANI et al., 2020). Em condições de estresse hídrico, as plantas apresentam inúmeras alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (KULCZYCKI et al.; 2022). Com grande tolerância à seca, o sorgo (*Sorghum bicolor* (Moench) L.) é uma planta que é fonte de alimento para mais de 500 milhões de pessoas em 98 países (PENNISI, 2009). Cultivares de sorgo forrageiro destacam-se por sua adaptação a mudanças climáticas, apresentam rusticidade, alta capacidade de perfilhamento e tolerância ao déficit hídrico, a solos úmidos e de baixa fertilidade (SILVA, 2023).

O sorgo apresenta elevada capacidade fotossintética gerando grande quantidade de biomassa, sendo utilizado desde a alimentação animal até a produção de biocombustível, demonstrando assim sua grande importância e versatilidade (ZHU et al., 2019). A silagem de sorgo forrageiro é utilizada por muitos produtores que visam aumentar a produtividade e manter a alimentação adequada dos animais no verão, quando acontece a escassez de forragem, uma vez que esta cultura apresenta melhor eficiência do uso da água (FERNANDES, 2020).

No cultivo do sorgo é requerido menos insumos agrícolas quando comparado a outras culturas, tornando-o uma escolha apropriada, especialmente, para agricultores com recursos limitados (TANWAR et al., 2023). Galicia-Juarez et al. (2021) observaram que o estresse hídrico diminuiu em 63% o funcionamento do aparelho fotossintético, em que a planta apresenta redução do metabolismo, hibernação (murcha) quando submetido ao déficit hídrico e havendo reposição hídrica acontece a recuperação da planta.

A composição química do sorgo é bem similar à de outros cereais, em termos proteínas, gorduras, carboidratos, polissacarídeos não amiláceos, vitamina B e vitaminas lipossolúveis, micronutrientes e macronutrientes, carotenoides e polifenóis (TANWAR et al., 2023). Todos

esses constituintes geram ao sorgo efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e anticancerígenos, bem como eliminação de radicais livres e alta atividade antioxidante (CHIKARA et al., 2018).

Condições de déficit hídrica alteram o acúmulo de compostos fenólicos no sorgo (TALEON et al., 2014), inclusive aumentando o teor de flavonoides (PINHEIRO et al., 2021). Tais compostos são responsáveis pela alta atividade antioxidantes que possui capacidade de diminuir ação de radicais livres (CARDOSO et al., 2017; TAYLOR et al., 2014). Os flavonoides, são subconjunto de compostos fenólicos, sendo os principais nas atividades promotora da saúde no sorgo. Além dos fenólicos, os grãos de sorgo manifestam uma série de constituintes bioativos, reforçando sua capacidade como ingredientes funcionais (GHINEA et al., 2021).

O sorgo também é fonte importante de nutrientes, dentre os minerais mais importantes tanto em quantidade quanto em qualidade, destacam-se o Ca, o P, o K, o Mg e o S (HOPKINS et al., 1994). O teor desses nutrientes pode ser influenciado pela quantidade desses disponíveis no solo para a absorção da planta, aumentado tal disponibilidade com a utilização de tecnologia, notadamente por meio de adubação (CHEEKE, 1991).

A qualidade do sorgo também é influenciada pelas frações fibrosas, consideradas muito importantes na caracterização do valor nutritivo das forragens. O conteúdo de fibra em detergente neutro (FDN) está diretamente relacionado à limitação de consumo (VAN SOEST, 1994). Diferentes genótipos da mesma espécie, podem ter respostas diferentes quando submetidas ao estresse hídrico (GALYUON et al., 2019). Além disso, o farelo de sorgo apresenta altos teores de proteína bruta, gordura, fibra e cinzas (ADEBO; KESA et al., 2023)

Formulou-se a hipótese que diferentes híbridos de sorgo não sofrem alterações em sua composição de metabolitos secundários e em seus teores de nutrientes em situações de déficit híbrido.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre os componentes da biomassa da parte aérea das plantas e a qualidade nutricional dos híbridos de sorgo forrageiro submetidos a déficit hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação instalada na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada em Campo Grande/MS. Foi utilizado delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial 3x2 com quatro repetições. O primeiro fator foi composto por três híbridos de sorgo forrageiro (AGRI 002-E, BREVANT SS318, BRS 658), enquanto o segundo foi formado por dois níveis de reposição água evapotranspirada (50% e 100%).

A reposição da água evapotranspirada (ET_c) foi realizada por meio do método da determinação da capacidade de campo pelo tempo de drenagem (CUNHA et al., 2007; CHAPUIS et al., 2012; CHAVES et al., 2023). Para a determinação da capacidade de campo pelo tempo de drenagem e ajustar o método de reposição da ET_c foram utilizados sete lisímetros de drenagem. Em cada lisímetro de drenagem foi cultivado um híbrido de milho, semeado no mesmo dia e nas mesmas condições das unidades experimentais.

Todos os dias, pela manhã, os sete lisímetros eram irrigados com 120% da média do consumo hídrico do dia anterior (evapotranspiração da cultura). O ajuste de 20% conferia o aparecimento de drenagem que indicariam o limite da capacidade de campo. Sequencialmente, eram realizadas as irrigações dos vasos, ajustados para receber os níveis de reposição descritos nos tratamentos.

As metodologias descritas por Cunha et al. (2007), auxiliaram na determinação da evapotranspiração da cultura para gerar deficit hídrico nas plantas, conforme a equação a seguir:

$$ETc^{i-1} = LA^{i-1} - LP^i$$

em que:

ETc^{i-1} = Evapotranspiração da cultura no diaⁱ⁻¹ (mm);

LA^{i-1} = Lâmina de água aplicada nos lisímetros no diaⁱ⁻¹ (mm); e

LP^i = Média das lâminas de água percoladas nos lisímetros medida no diaⁱ (mm).

Ao final do ciclo, as amostras foram moídas e acondicionadas em embalagens plásticas devidamente identificadas para utilização nas determinações dos metabólitos secundários, e variáveis químico-bromatológicas. As amostras foram secas por 72 h em estufa de secagem a 65 °C.

Para a extração das isoflavonas, 50 mg das amostras foram adicionadas em eppendorf de 2 mL, no qual adicionou-se 1,5 mL de metanol 70% contendo ácido acético (0,1%). A mistura foi agitada brevemente e depois incubado por 2 horas em ultrasom. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 5.000 rpm por 20 min e o sobrenadante obtido foi filtrado por meio de uma seringa com um filtro de 0,2 µm e transferidos para vials de 1,5 mL antes da injeção em um sistema de cromatografia líquida de ultra performace (UPLC). Alíquotas de 10 µL foram utilizadas para injeção direta no equipamento. Cada amostra teve três repetições de análise (Carrão-Panizzi et al., 2002).

A separação e quantificação das isoflavonas foram realizadas em cromatógrafo líquido no sistema UPLC Waters Acquity série 1100, com injetor automático de amostras. Utilizou-se uma coluna de fase reversa do tipo HSS C18, 1,8 µm (diâmetro interno de 2,1 mm (i.d.) x 100 mm) com uma pré-coluna Acquity HSS C18, 1,8 µm (2,1 mm i.d. x 5 mm). Para a separação das isoflavonas, adotou-se o sistema de gradiente linear binário, tendo como fases móvel: água Milli-Q e ácido acético 0,1% como solvente A e acetonitrila e ácido acético 0,1% como solvente B. O gradiente inicial foi de 99% para o solvente A e 1,0% para o solvente B de 0 a 9 minutos, 41,2% A e 58,8% B de 9 a 9,1 minutos, 100% B de 9,1 a 11 minutos e retornando a

99% A e 1% B aos 11 minutos e permanecendo assim até 15 minutos, que foi o tempo de corrida para cada amostra (Carrão-Panizzi et al., 2002). A vazão da fase móvel foi de 0,289 mL min⁻¹ e a temperatura da coluna durante a corrida foi de 30 °C. A detecção das isoflavonas foi realizada utilizando o detector de arranjo de foto diodo da marca Waters, ajustado para o comprimento de onda igual a 254 nm. Para a detecção das isoflavonas, foram utilizados padrões adquiridos comercialmente de daidzeína (D1), daidzina (D2), genisteína (G1) e genistina (G2), solubilizados em metanol 70% e ácido acético (0,1%), nas seguintes concentrações: 0,000125, 0,0002, 0,0005, 0,001, 0,01, 0,02 mg mL⁻¹. A identidade qualitativa e quantitativa do pico foi confirmada comparando os tempos de retenção e os espectros de UV de compostos individuais e pelo método de adição padrão.

Todos os solventes utilizados nas análises cromatográficas foram grau HPLC, e antes da utilização foram filtrados à vácuo em membrana de 0,2 µm de porosidade e posteriormente desgaseificados em sistema a vácuo utilizando ultrassom. A água utilizada foi destilada e em seguida ultrapurificada em sistema Milli-Q sendo posteriormente desgaseificada.

Os teores de P foram determinados pelo método de espectrofotometria de amarelo vanadato, onde H₂PO₄⁻ reage com MoO₄²⁻ e VO₃²⁻ para formar um complexo de cor amarela com absorção de luz na região de 420 nm. O conteúdo de S foi determinado usando o princípio de que SO₄²⁻ forma um precipitado branco com Ba²⁺. Um espectrofotômetro UV-VIS foi utilizado para ambas as análises e curvas analíticas foram construídas para estimar a concentração de P e S no extrato digerido. Os teores de K, Ca, Mg, Mn e Zn nos extratos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Para tanto, foi utilizado um dispositivo de absorção atômica com chama ar-acetileno e lâmpadas catódicas ocas, específicas para cada elemento analisado (SILVA, 2009).

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Aplicada da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FAMEZ) da Universidade Federal de Mato

Grosso do Sul (UFMS). Foram determinados: teor de matéria seca (%MS), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA). O teor de proteína bruta foi calculado a partir do teor de nitrogênio total, determinado pelo método de Kjeldahl, multiplicado pelo fator 6,25. Os teores de FDN foi determinado pelo método alternativo desenvolvido por Souza et al. (1999). Em seguida foi realizada a Digestibilidade In Vitro, onde todas as amostras serão analisadas quanto aos teores de matéria seca (MS; método INCT-CA G-003/1), proteína bruta (PB; método INCT-CA N-001/1) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN; método INCT-CA F002/1), conforme métodos preconizados por Detmann et al. (2012).

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em todos os casos, adotou-se o nível de significância de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferenças entre os híbridos de sorgo para os flavonoides daidzina e genisteína, enquanto o déficit hídrico foi significativo para os flavonoides daidzeína e daidzina. A interação entre híbridos de sorgo e flavonóides foi significativa apenas para o flavonóide daidzina.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para concentração dos flavonoides daidzeína (D1), daidzina (D2), genisteína (G1) e genistina (G2) avaliados em híbridos (H) de sorgo com e sem déficit hídrico (DF).

FV	GL	D1	D2	G1	G2
H	2	2654,01 ^{ns}	346476,85*	9151,66*	1055,06 ^{ns}
DF	1	394712,00*	145950,33*	893,25 ^{ns}	231,30 ^{ns}

H×DF	2	488,50 ^{ns}	526974,10*	411,24 ^{ns}	1958,76 ^{ns}
Resíduo	18	27488,11	194554,29	18807,82	49151,95
Média		194,25	1579,80	750,07	2156,89

^{ns} e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade.

Pinheiro et al. (2023), constataram que o estresse hídrico afetou a concentração de flavonoides em sorgo, todavia esse efeito foi diferente para os distintos genótipos avaliados, podendo assim inferir que a concentração de flavonoides pode influenciar para a seleção de variedades adaptadas ou tolerantes à seca. Dessa forma, plantas que apresentam danos físicos causados por problemas como estresse por seca apresentam aumento significativo de flavonoides (TALEON et al., 2014).

O déficit hídrico proporcionou maior concentração do flavonóide daidzeína nas folhas de sorgo (Tabela 2). A avaliação deste metabólito secundário em sorgo ainda não foi relatada na literatura.

Tabela 2. Comparação de médias para a concentração do flavonóide Daidzeína em híbridos de sorgo em função da presença ou ausência de déficit hídrico.

ETc	Daidzeína (mg mL ⁻¹)
50	322,51 a
100	65,99 b

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Contudo, os resultados reportados por Lozovaya et al. (2005) corroboram os relatados nesta pesquisa, verificando que o déficit hídrico aumentou a concentração de daidzeína,

todavia em sementes de soja. Valores elevados de daidzeína são relacionados com atividades inibitórias e antioxidantes, e quando elevados em folha, possuem efeitos benéficos pré-diabéticos (HONG et al., 2023). Compostos fenólicos como os flavonoides são caracterizados como componentes importantes da parede celular das células vegetais altamente envolvidos em mecanismos de defesa contra a maioria dos estresses abióticos, como o estresse hídrico (CHEYNIER et al., 2013), aumentando sua concentração na planta.

O híbrido Agri 002-E obteve maior concentração do flavonóide daidzeína sob déficit hídrico (ETc 50) (Tabela 3). Os demais híbridos não apresentaram diferenças entre si na ausência de déficit hídrico (ETc 100). O déficit hídrico proporcionou concentração deste metabólito no híbrido Agri 002-E. Para os demais híbridos não houve diferença entre os níveis de disponibilidade hídrica.

Tabela 3. Desdobramento da interação significativa entre híbridos de sorgo forrageiro e déficit híbrido para a concentração do flavonóide daidzina.

ETc	Daidzina (mg mL ⁻¹)		
	Agri 002-E	Brevant SS318	BRS 658
50	6116.12 aA	6116.11 aB	424.26 aB
100	409.00 bA	1461.08 aA	529.84 aA

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna e maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pinheiro et al. (2023), afirmaram que as intemperes ambientais afetam de forma diferente as vias biossintéticas na síntese de flavonóides em cada genótipo de sorgo, ressaltando a necessidade de estudos em nível molecular. Os autores também ressaltam a importância da avaliação do estresse hídrico em compostos fenólicos e a relação disso na

produtividade das culturas, possibilitando relacionar se o aumento desses compostos é viável do ponto de vista econômico.

Xiong et al. (2020) afirmaram que há modificações no teor de isoflavonas, especialmente de Daidzina, manifesta-se de maneira distinta entre os híbridos. Genótipos que exibem uma composição fenólica ampla e diversificada possuem maior potencial de exploração no âmbito alimentício e farmacêutico.

Os híbridos Agri 002-E e Brevant SS318 obtiveram maiores concentrações de genistina (Tabela 4). Tal resultado pode inferir sobre a potencialidade desses híbridos como fontes enriquecidas desse composto, podendo ser de interesse para a produção de alimentos ou na utilização em produtos farmacêuticos.

Tabela 4. Comparação de médias para a concentração do flavonóide genistina em híbridos de sorgo em função do déficit hídrico.

Híbrido	Genistina (mg mL ⁻¹)
Agri 002-E	4,78 a
Brevant SS318	5,08 a
BRS 658	3,22 b

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os isoflavonoides, classificação em que se enquadra a Genistina, são compostos que fornecem a planta adaptação ambiental (NAKATA et al., 2016). Como já mencionado o teor de flavonoides pode ser influenciado pelos genótipos, como afirma Pinheiro et al. (2023) e como constatado nos resultados desse estudo. E ainda o teor de cada genótipo pode ser influenciado pelo ambiente em que ele é submetido, já que o conteúdo isoflavonas é

significativamente influenciado pelo efeito da interação genótipo e ambiente (LEE et al., 2003).

Na avaliação nutricional do sorgo, constata-se que não houve diferenças entre os híbridos de sorgo forrageiro (Tabela 5). O efeito de déficit hídrico foi significativo para os teores foliares de P, K, Ca e Mg. A interação entre híbridos de sorgo forrageiro e déficit hídrico influenciou os teores de P e S.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para os teores foliares de P, K, Ca, Mg, S, Mn e Zn avaliados em híbridos (H) de sorgo com e sem déficit hídrico (DF).

FV	GL	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn
H	2	0,04 ^{ns}	0,41 ^{ns}	8,00 ^{ns}	2,35 ^{ns}	0,26 ^{ns}	679,05 ^{ns}	1,04 ^{ns}
DF	1	1,28*	11,48*	0,01*	0,51*	5,70 ^{ns}	1998,40 ^{ns}	92,04 ^{ns}
H×DF	2	0,25*	2,31 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1,71*	1314,90 ^{ns}	215,04 ^{ns}
Resíduo	18	0,06	2,26	0,22	0,21	0,23	2242,18	88,65
Média		1,10	8,51	4,37	5,33	1,98	129,71	61,46

^{ns} e * : não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade.

Resultados similares foram observados por Tardin et al. (2013) e Galicia-Juárez et al. (2021), que observaram interação entre genótipos de sorgo e déficit hídrico para variáveis agrônomicas e fisiológicas, respectivamente. Para os micronutrientes avaliados, não houve nenhum efeito significativo.

O déficit hídrico proporcionou maiores teores de P e S para os híbridos Agri 002-E e BRS 658 (Tabela 6). Não houve diferença entre as disponibilidades de água para os teores de P e S no híbrido Brevant SS318. Isso demonstra que esse genótipo possui maior

adaptabilidade ao déficit hídrico, sem reduzir os teores foliares desses nutrientes. Tal capacidade de manter os níveis de P e S em ambientes desfavoráveis quanto a disponibilidade hídrica é um indicativo promissor para cultivo de tais híbridos em regiões propensas a condições de seca ou escassez de água.

Tabela 6. Desdobramento da interação significativa entre híbridos de sorgo forrageiro e déficit híbrido para os teores foliares de P e S.

ETc	P (g kg ⁻¹)		
	Agri 002-E	Brevant SS318	BRS 658
50	1,55 aA	1,10 aA	1,35 aA
100	0,82 bA	1,03 aA	0,75 bA
ETc	S (g kg ⁻¹)		
	Agri 002-E	Brevant SS318	BRS 658
50	2,90 aA	1,95 aB	2,57 aAB
100	1,47 bA	1,72 aA	1,30 bA

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna e maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Normalmente, sorgo cultivado sob estresse hídrico diminui os teores de S e P (PAIVA et al., 2017) pois a menor disponibilidade de água afeta no transporte dos nutrientes, especialmente dos tecidos vegetais para os grãos como afirma Ferreira et al. (2018). Paiva et al. (2017) afirmam variações no solo, de clima e genética influenciam na concentração dos minerais. Os híbridos citados que tiveram maiores teores de P e S sob déficit hídrico, pode deduzir que tais genótipos possuem certa tolerância a escassez de água. Kulczycki et al. (2022) relataram diminuição no acúmulo de alguns minerais nos tecidos vegetais sob estresse

hídrico, e que o teor menor dos elementos nos tecidos vegetais pode indicar que a absorção foi interrompida prejudicando sua concentração nos tecidos.

A maior disponibilidade hídrica proporcionou maior teor foliar de K para os híbridos de sorgo (Tabela 7). Pode-se afirmar que os níveis de potássio são sensíveis às condições hídricas, aumentando seus teores sob condições de maior disponibilidade de água.

Tabela 7. Comparação de médias para o teor foliar de K de híbridos de sorgo em função da presença ou ausência de déficit hídrico.

ETc	K (g kg ⁻¹)
50	7,82 b
100	9,20 a

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Leão et al. (2011) verificaram em seu trabalho que os maiores acúmulos de K foram obtidos em plantas que não passaram por restrição hídrica. A disponibilidade de nutrientes como o K, é altamente dependente do teor de umidade do solo, pois o deslocamento do nutriente é por difusão sendo dependente do fluxo de água interno da planta. O acúmulo de K nos tecidos vegetais pode ajudar as plantas a se ajustarem osmoticamente e a manter a atividade das aquaporinas envolvidas na absorção de água, melhorando assim a tolerância ao estresse hídrico (WANG et al.; 2013).

Os maiores teores de Ca e Mg foram encontrados nos híbridos Agri 002-E e Brevant SS318. O híbrido BRS 658 obteve a menor média para ambos os nutrientes podendo afirmar que este é menos eficiente na absorção e aproveitamento da disponibilidade dos elementos no solo.

Tabela 8. Comparação de médias para os teores foliares de Ca e Mg de híbridos de sorgo em função da presença ou ausência de déficit hídrico.

Híbrido	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
Agri 002-E	4,78 a	5,77 a
Brevant SS318	5,08 a	5,62 a
BRS 658	3,22 b	4,58 b

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Santi et al. (2006) observaram que a produção de massa seca é afetada diretamente pela omissão destes nutrientes, destacando a importância do suprimento adequado de Ca e Mg. Kulczycki et al. (2022) relataram que apesar da mobilidade muito baixa de Ca, a absorção e distribuição não foram perturbadas e não limitaram o funcionamento da planta sob condições estressantes. Todavia, em condições de estresse hídrico prolongado a planta passa a liberar íons K das argilas, aumentando sua concentração na solução do solo, as plantas passam a absorver-lo mais e diminui a absorção de Ca (PARK et al., 2019). Como estresse hídrico afeta de forma distinta diferentes genótipos de sorgo e conseqüentemente na absorção desses nutrientes, cada sorgo terá um limiar diferente de absorção e acúmulo dos elementos (KAZEMI et al., 2022).

A Tabela 9 contém o resumo da análise de variância para as variáveis relacionadas a qualidade da forragem. Houve diferença entre os híbridos para os teores de matéria seca e de proteína bruta. A interação entre híbridos e déficit hídrico foi significativa apenas para matéria seca. Para as demais variáveis, os efeitos investigados não proporcionaram alterações significativas.

Tabela 9. Resumo da análise de variância para o teor de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e material mineral (MM) avaliados em híbridos (H) de sorgo com e sem déficit hídrico (DF).

FV	GL	MS	PB	FDN	MM
H	2	282,40*	7,70*	77,34 ^{ns}	0,10 ^{ns}
DF	1	84,46 ^{ns}	1,45 ^{ns}	99,81 ^{ns}	0,18 ^{ns}
H×DF	2	225,21*	0,26 ^{ns}	109,73 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Resíduo	18	29,56	1,11	36,94	0,07
Média		45,52	4,72	50,47	1,27

^{ns} e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade.

O híbrido Agri 002-E apresentou maior teor de matéria seca quando cultivado em déficit hídrico (Tabela 10). Tais híbridos podem possuir respostas fisiológica superiores quando submetidos a adversidade ambiental, destacando sua capacidade em otimizar seus recursos para a produção de matéria seca em situações de escassez hídrica.

Tabela 10. Desdobramento da interação significativa entre híbridos de sorgo e déficit híbrido para o teor de matéria seca (MS).

ETc	MS (%)		
	Agri 002-E	Brevant SS318	BRS 658
50	56,70 aA	33,79 bB	40,43 aB
100	47,70 bA	47,87 aA	46,60 aA

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna e maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando comparado com outras plantas forrageiras sob condições de estresse hídrico o sorgo tem se destacado. Leão (2006) verificou não haver diferença entre os rendimentos de matéria seca entre o milho (*Zea mays*), o sorgo (*Sorghum bicolor*) e o milheto (*Pennisetum typhoides*), quando cultivados sem déficit hídrico porém o sorgo foi superior ao milho em três condições de estresse hídrico. A maior produção de matéria seca em condições de estresse hídrico pode sinaliza uma estratégia adaptativa dos híbridos que se destacaram às condições de déficit, em que o sorgo pode possuir mecanismos específicos de regulação fisiológica que os favorece na utilização eficiente de recursos para a síntese de matéria seca.

O híbrido BRS 658 apresentou maior teor de PB quando comparado aos híbridos Agri 002-E e Brevant SS318 (Tabela 11). Esse achado destaca a utilização do híbrido BRS 658 na alimentação animal.

Tabela 11. Comparação de médias para o teor de proteína bruta (PB) de híbridos de sorgo em função da presença ou ausência de déficit hídrico.

Híbrido	PB (%)
Agri 002-E	3,74 b
Brevant SS318	4,70 ab
BRS 658	5,71 a

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores distintos de PB destacam a vantagem potencial do híbrido BRS 658 na alimentação animal, sendo fonte significativa de proteína bruta para atender às necessidades para alimentação, especialmente a animal. Gholami et al. (2023) evidenciou a importância das

considerações nutricionais precisas para os diferentes usos do sorgo na cadeia alimentar e na produção agropecuária pois permite a adaptação dos teores de componentes nutricionais de acordo com a aplicação específica.

É notório que a avaliação da qualidade dos genótipos de sorgo, como exemplificado pelo estudo em questão, é uma prática essencial para orientar escolhas adequadas conforme o destino final dos produtos agrícolas. Estes resultados oferecem perspectivas promissoras para aplicações na indústria alimentícia e farmacêutica, considerando o valor atribuído a compostos fenólicos, minerais e de qualidade dos híbridos do sorgo havendo propriedades benéficas à alimentação e a saúde.

CONCLUSÕES

A concentração de daidzina e os teores foliares de fósforo e potássio e o teor de matéria seca são influenciados pelo déficit hídrico e híbridos de sorgo. O híbrido Agri 002-E obteve maiores médias para estas variáveis em condição de estresse hídrico.

As variáveis bromatológicas não foram afetadas pelo déficit hídrico. O híbrido Brevant SS318 obteve maior concentração de genistina e teor de proteína bruta.

É notável o destaque do híbrido Agri 002-E, que não apenas demonstrou uma maior concentração de daidzeína e genistina, mas também revelou uma resposta mais eficiente à condição de déficit hídrico na concentração de S e P e maior teor de matéria seca. Além disso tal híbrido apresentou maiores valores de Ca e Mg, indicando uma eficiência diferenciada na absorção desses nutrientes.

REFERÊNCIAS

ADEBO, J. A.; KESA, H. Evaluation of nutritional and functional properties of anatomical parts of two sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties. **Heliyon**, v.9, n. 6, 2023.

ASSEFA, Y. et al. Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: a review. **Crop Management**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2010.

BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de plantas**. v. 87. Campinas: IAC, 1978.

BRUNO, O. A. et al. Cultivares de sorgos forrajeros para silaje.I. Rendimiento de matéria seca y valor nutritivo dela planta. **Revista Argentina de Producción Animal**, v. 12, n. 2, p. 157-162, 1992.

BUSO,W.H.D. et al. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **PUBVET**, Londrina, v. 5, n. 23, Ed. 170, Art. 1145, 2011.

CARDOSO, L. D. M. et al. Sorghum (*Sorghum bicolor L.*): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 2, p. 372-390, 2017.

CARRÃO-PANIZZI, M. C. et al. Extraction time for soybean isoflavone determination. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 45, 515–518, 2002.

CHAPUIS, R. et al. Resiliences to water deficit in a phenotyping platform and in the field: How related are they in maize? **European Journal Agronomy**, v.42, p.59-67.

CHAVES, A.R.D. et al. Analysis of principal components for the assessment of silage corn hybrids performance under water deficit. **Agriculture**, v. 13, p. 1-14, 2023.

CHEEKE, P. R. **Applied animal nutritional: feedand feeding**. Englewood Cliffs. New Jersey:Prentice Hall, 1991. 504p.

CHEYNIER, V. et al. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. **Plant physiology and biochemistry**, v. 72, p.1-20, 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Safra Brasileira de Grãos: tabela de dados - produção e balanço de oferta e demanda de grãos. Tabela de dados - Produção e balanço de oferta e demanda de grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 30 de novembro de 2023.

CUNHA, F.F.et al. Avaliação do sistema radicular do capim-tanzânia submetido a diferentes níveis de irrigação e turnos de rega. **Engenharia na Agricultura**, v. 15, p. 200-211. (2007).

DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos**. Suprema: Visconde do Rio Branco, 2012. 214p.

DONATELLI, M. et al. Genotype and water limitation effects on phenology, growth and transpiration efficiency in grain sorghum. **Crop Science**, v. 32, p. 781-786, 1992.

DUTRA, E. D. et al. Ethanol production from the stem juice of different sweet sorghum cultivars in the state of Pernambuco, northeast of Brazil. **Sugar Tech**, v. 15, n. 3, p. 316-321, 2013.

FERNANDES, T. et al. Influence of sorghum cultivar, ensiling storage length, and microbial inoculation on fermentation profile, N fractions, ruminal in situ starch disappearance and aerobic stability of whole-plant sorghum silage. **Animal Feed Science and Technology**, p.114535. 2020.

FERREIRA, V. M. et al. Acúmulo e distribuição de macronutrientes em dois híbridos duplos de milho, em função da disponibilidade de água no solo duplos de milho, em função da disponibilidade de água no solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, n. 1, 2008.

GALYUON, I. K. et al. A comparative assessment of the performance of a stay-green sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) introgression line developed by marker-assisted selection and its parental lines. **African Journal of Biotechnology**, v. 18, n. 26, p. 548-563, 2019.

GHINEA, I. O. et al. HPLC-DAD polyphenolic profiling and antioxidant activities of sorghum bicolor during germination. **Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 417, 2021.

GHOLAMI, H. et al. Evaluation of forage yield and quality in the local and foreign cultivars, lines, and hybrids of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Journal of Animal Science Research**, v. 32, n. 4, p. 133-156, 2023.

HONG, J. et al. Inhibitory characteristics of flavonoids from soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) leaf against pancreatic lipase. **Food Bioscience**, v. 56, p. 103311, 2023.

HOPKINS, A. et. al. Response of permanent and resseeded grassland to fertilizer nitrogen. 2 – Effects on concentration of Ca, Mg, Na, S, Mn, Cu, Co and Mo in herbage at a range of siles. **Grass and Forage Science**, v. 49, n. 1, p. 9-20, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/sorgo/br> . Acesso em 23 de novembro de 2023.

KAZEMI, E. et al. Yield and biochemical properties of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) affected by nano-fertilizer under field drought stress. **Cereal Research Communications**, p. 1-9, 2021.

KULCZYCKI, G. et al. Maize and wheat response to drought stress under varied sulphur fertilisation. **Agronomy**, v. 12, n. (5), p. 1076, 2022.

LEÃO, D. A. S. (2006). **Estresse hídrico e adubação fosfatada no desenvolvimento inicial e na qualidade da forragem da gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.) e do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).**

LEÃO, D. A. S. et al. Estado nutricional de sorgo cultivado sob estresse hídrico e adubação fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 74-79, 2011.

LEE, S. J. et. al. Effects of year, site, genotype and their interactions on various soybean isoflavones. **Field Crops Research**, v. 81, n. 2-3, p. 181-192, 2003.

LOZOVAYA, V.V. et al. Effect of temperature and soil moisture status during seed development on soybean seed isoflavone concentration and composition. **Crop Sci.** 2005, 45, 1934–1940.

MASOJIDEK, J. et al. The synergetic effect of drought and light stress in sorghum and pearl millet. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 96, p. 198-207, 1991.

NAKATA, R. et al. Inducible de novo biosynthesis of isoflavonoids in soybean leaves by *Spodoptera litura* derived elicitors: tracer techniques aided by high resolution LCMS. **Journal of chemical ecology**, v.42, p.1226-1236, 2016.

PAIVA, C. L. et al. Mineral content of sorghum genotypes and the influence of water stress. **Food chemistry**, v. 214, p. 400-405. (2017).

PARK, S. M. et al. Características de adsorção do céσιο nos argilominerais: Mudança estrutural sob condições de umedecimento e secagem. **Geoderma** , v. 340, p. 49-54, 2019

PAZIANI, S. F. et al. Correlações entre variáveis quantitativas e qualitativas de milho e de sorgo para silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 408-416, 2019.

PENNISI, E. **How Sorghum withstands heat and drought**. Science, New York, v. 323, n. 5914, p. 573, Jan. 2009.

PINHEIRO, S. S. et al. Water stress increased the flavonoid content in tannin-free sorghum grains. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.100, 2021.

ROSTAGNO, H.S. **Utilização do sorgo nas rações de aves e suínos**. Inf. Agropec., v.12, p.18-27, 1986.

SANTI, A. et al. Deficiências de macronutrientes em sorgo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 228-233, 2006.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV – Universidade Federal de Viçosa, p.235, 2002.

SILVA, F. D. (2009). Análise química de tecido vegetal. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**, 2, 193-304.

SILVA, L.D.F. **Degradabilidade ruminal da casca de soja e fontes protéicas e seus efeitos nas digestões ruminal e intestinal de rações de bovinos**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.

SILVA, R. A. D. et al. Produção de cultivares de sorgo *Sorghum bicolor* L. Moench sob diferentes turnos de rega. 2023. 30 p. (Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia) - **Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar**, 2023.

SOUZA, G. B. et al. **Método alternativo para a determinação de fibra em detergente neutro e detergente ácido**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 1999. 21p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Boletim de Pesquisa, 4)

TALEON, V. et al. Environmental effect on flavonoid concentrations and profiles of red and lemon-yellow sorghum grains. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 34, n. 2, p. 178-185, 2014.

TANWAR, R. et al. Nutritional, Phytochemical and Functional Potential of Sorghum: A Review. **Food Chemistry Advances**, p. 100501, 2023.

TARDIN, F. D. et al. Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 102-117, 2013.

TAYLOR, J. R. et al. Increasing the utilisation of sorghum, millets and pseudocereals: Developments in the science of their phenolic phytochemicals, biofortification and protein functionality. **Journal of Cereal Science**, v. 59, n. 3, p. 257-275, 2014

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. **A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops**. J. Br. Grass. Soc., Oxford, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

VALADARES FILHO, S. C.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; CAPPELLE, E.R. **Tabelas brasileiras decomposição de alimentos para bovinos – cqbal 2.0**. Viçosa: UFV, DZO, DPI, 2002. p. 297.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca, New York : Cornell University, 1994. 476p.

VERIATO, F. T. et al. Fermentation characteristics and nutritive values of sorghum silages. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 40, 2018.

WANG, M. et al. O papel crítico do potássio na resposta ao estresse das plantas. *Internacional J. Mol. Ciência*, v. 14, p. 7370–7390, 2013

WILSON, J.R. Environmental and nutritional factors affecting herbage quality. In: HACKER, J.B. (Ed.) **Nutritional limits to animal production from pastures**. Farnham: CAB. p.111-131, 1983.

XIONG, Y. et al. Comprehensive profiling of phenolic compounds by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS/MS to reveal their location and form of presence in different sorghum grain genotypes. *Food Research International*, v. 137, p. 109671, 2020.

ZHU, L. et al. Phenotypic and proteomic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor*) albino lethal mutant *sbe6-a1*. *Plant Physiology and Biochemistry* 139, 400–410. 2019.