

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

KÁTIA CRISTINA DA SILVA

**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E AGRUPAMENTO
GENÉTICO DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

CASSILÂNDIA – MS

OUTUBRO/2020

KÁTIA CRISTINA DA SILVA

**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E AGRUPAMENTO
GENÉTICO DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, nível de Mestrado, para a obtenção do Título de Mestre em Agronomia, com área de concentração em Sustentabilidade na Agricultura.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Fábio Steiner

CASSILÂNDIA – MS

OUTUBRO/2020

S58c Silva, Kátia Cristina

Características morfológicas e agrupamento genético de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica/ Kátia Cristina da Silva.

– Cassilândia, MS: UEMS, 2020.

66 p.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Steiner.

1. Cana-de-açúcar 2. Deficiência hídrica 3. Análise multivariada I. Steiner, Fábio II. Título

CDD 23. ed. – 633.61



Governo do Estado de Mato Grosso do Sul
Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
PROPP - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Sede Dourados
UUCass - Unidade Universitária de Cassilândia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
PGAC - Área de Concentração em Sustentabilidade na Agricultura



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E AGRUPAMENTO GENÉTICO DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

AUTOR(A): KÁTIA CRISTINA DA SILVA

ORIENTADOR(A): FÁBIO STEINER

Aprovado como parte das exigências para obtenção de MESTRE EM AGRONOMIA, Área de concentração: “**Sustentabilidade na Agricultura**”, pela Comissão Examinadora

Fábio Steiner

Prof. Dr. Fábio Steiner

Orientador(a)

PI Fábio Steiner

Prof. Dr. Claudio Hideo Martins da Costa

Participação via webconferência (UFG)

PI Fábio Steiner

Prof. Dr. Jayme Ferrari Neto

Participação via webconferência (UCDB)



Data da realização: 22 de outubro de 2020.

DEDICATÓRIA

A Deus o maior orientador da minha vida, pois o coração do homem pode fazer planos, mas a resposta certa dos lábios vem do SENHOR.

A mim por toda determinação e coragem de me lançar ao desafio.

Dedico à minha família que é sempre minha base e meu apoio nos dias bons e maus.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter cuidado de cada detalhe para que isso se tornasse possível.

À minha mãe que me inspirou ser quem sou. Por todo apoio durante esse tempo e por ter acreditado na minha capacidade.

Ao meu pai José Ramilo (*in memoriam*), pois certamente teria orgulho de mim neste momento.

Ao professor Dr. Fábio Steiner, pela orientação competente, profissionalismo, confiança e incentivo durante a jornada.

A todos os professores do curso de Mestrado em Agronomia que contribuíram na construção de conhecimento durante esse tempo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Sustentabilidade na Agricultura da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia pela oportunidade de concluir mais uma importante etapa na construção da minha carreira.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, por meio da concessão de bolsa do programa de Demanda Social (DS).

A todos os meus amigos que me apoiaram cada vez que eu tive de superar meus limites, e a aqueles que me auxiliaram com o experimento, em especial a Cleicimar que me deu a “sugestão” de prestar a seleção e por todo companheirismo dessa maravilhosa jornada.

À banca examinadora por aceitarem o convite de participação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS.....	9
INTRODUÇÃO GERAL	10
CAPÍTULO 1. ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS EM VARIEDADES DE CANA-DE- AÇÚCAR EM RESPOSTA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA.....	13
1.1. INTRODUÇÃO	15
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	17
1.2.1. Localização e Caracterização do experimento	17
1.2.2 Delineamento experimental e Tratamentos	18
1.2.3 Implantação e condução do experimento	18
1.2.4 Avaliações morfológicas	19
1.2.5 Análises estatísticas	20
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
1.4. CONCLUSÕES	35
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
CAPÍTULO 2. ÍNDICES DE SELEÇÃO PARA IDENTIFICAR VARIEDADES DE CANA- DE-AÇÚCAR TOLERANTES À SECA	40
2.1 Introdução	42
2.2 Material e Métodos	43
2.2.1 Localização e caracterização do experimento	43
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	44
2.2.3 Implantação, condução e avaliação do experimento	44
2.2.4 Cálculo dos índices de tolerância à seca.....	46
2.2.5 Análises estatísticas	46
2.3 Resultados e Discussão	48
2.3.1. Produção de matéria seca da parte aérea e Índices de tolerância à seca.....	48
2.3.2. Análise de correlação.....	51
2.3.3. Método do Ranqueamento	53
2.3.4. Análise Multivariada de Agrupamento Hierárquico.....	55
2.3.5. Análise de componente principal (ACP)	57
2.4 Conclusões	60
2.5 Referências Bibliográficas	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais características agronômicas das 13 variedades de cana-de-açúcar utilizadas no estudo	18
Tabela 2. Resumo da análise de variância para os efeitos dos fatores variedades e níveis de deficiência hídrica nas características morfológicas das plantas de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.	21
Tabela 3. Efeito dos níveis de deficiência hídrica na altura de planta, diâmetro do colmo e número de perfilhos por planta para as 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.	22
Tabela 4. Efeito dos níveis de deficiência hídrica no número de folhas, área foliar e volume radicular das 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.	25
Tabela 5. Efeito dos níveis de deficiência hídrica na produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e total das 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.	29
Tabela 6. Efeito dos níveis de deficiência hídrica na razão parte aérea/raiz das 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.	31
Tabela 7. Principais características agronômicas das 13 variedades de cana-de-açúcar utilizadas no estudo	45
Tabela 8. Índices de tolerância à seca para avaliar a resposta da produção de matéria seca da parte aérea das 13 variedades de cana-de-açúcar cultivadas em condições de deficiência hídrica moderada e severa. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.	46
Tabela 9. Produção de matéria seca da parte aérea e índices de tolerância à seca para 13 variedades de cana-de-açúcar cultivadas em condições de adequada disponibilidade de água e sob condições de restrição hídrica moderada e severa. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.	49
Tabela 10. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre a produção de matéria seca da parte aérea em condições de adequada disponibilidade de água (Y_P) e sob condições de restrição hídrica moderada ou severa (Y_S) e índices de tolerância à seca calculadas para as 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.	52
Tabela 11. Ranqueamento, pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) e desvio padrão do ranqueamento (DP) para a produção de matéria seca da parte aérea (Y_P e Y_S) e os índices de tolerância à seca das 13 variedades de cana-de-açúcar cultivadas em condições de adequada disponibilidade de água e sob condições de restrição hídrica moderada ou severa. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico das 13 variedades de cana-de-açúcar com base na distância euclidiana média padronizada e no método de variância mínima de ward utilizando todas as 10 características morfológicas das plantas em condições controle (A), e sob deficiência hídrica moderada (B) e severa (C). **34**

Figura 2. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico das 13 variedades de cana-de-açúcar com base na distância euclidiana média padronizada e no método de variância mínima de ward utilizando a produção de matéria seca da parte aérea em condições de adequada disponibilidade de água (Y_P) e sob deficiência hídrica (Y_S) e os índices de tolerância à seca (TOL, MP, YSI, DI, STI, GMP, YI, k_1 STI, k_2 STI, SSPI, ATI e HM) para o cultivo em condições de restrição hídrica moderada (A) e severa (B). **56**

Figura 3. Diagrama biplot com base no primeiro e segundo componentes principais para a produção de matéria seca da parte aérea das 13 variedades de cana-de-açúcar em condições de adequada disponibilidade de água (Y_P) e sob deficiência hídrica (Y_P) e índices de tolerância à seca (TOL, MP, YSI, DI, STI, GMP, YI, k_1 STI, k_2 STI, SSPI, ATI e HM) para o cultivo em condições de restrição hídrica moderada (A) e severa (B). **59**

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
ABA	ácido abscísico
AF	área foliar
Al ³⁺	alumínio
AP	altura de planta
Ca ²⁺	cálcio
CaCl ₂	cloreto de cálcio
CaO	óxido de cálcio
CO ₂	dióxido de carbono
CRA	capacidade de retenção de água do solo
CTC	capacidade de troca de cátions
DC	diâmetro do colmo
H ⁺	hidrogênio
K ⁺	potássio
Mg ²⁺	magnésio
MgO	óxido de magnésio
MS	moderadamente suscetível
MSPA	matéria seca da parte aérea
MSR	matéria seca das raízes
MST	matéria seca total
MT	moderadamente tolerante
NFP	número de folhas por perfilho
NPP	número de perfilhos por planta
P	fósforo
<i>P</i>	probabilidade
PN	Poder de Neutralização
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
S	suscetível
T	tolerante
VR	volume radicular

INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta monocotiledônea, alógama e perene, originária das regiões tropicais do sul da Ásia e Nova Guiné, pertencente à família Poaceae, tribo Andropogoneae e gênero *Saccharum* (SANTOS; BORÉM, 2013). Desde o período colonial a cana-de-açúcar consiste em uma cultura de grande importância para a economia brasileira. Atualmente é considerada uma das principais culturas para a produção de biocombustíveis, como o etanol e de seus derivados sendo o Brasil o maior produtor mundial.

Na safra 2019/2020, a cultura ocupou uma área de 8,48 milhões de hectares, resultando em uma produção de 643 milhões de toneladas de colmos (CONAB, 2020). Esta área de produção de cana-de-açúcar no Brasil quando comparada com as safras dos anos anteriores, continua em expansão, especialmente nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Espírito Santo (CONAB, 2020).

Esta expansão do cultivo especialmente ao longo das duas últimas décadas está relacionada às preocupações com o aquecimento global e a possível escassez dos recursos energéticos fósseis, elevando a demanda por energias renováveis, como os biocombustíveis. No entanto, em paralelo à crescente expansão do cultivo de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste do Brasil tem-se constatado a falta de informações regionalizadas que visam a otimização da produção da cultura no estado Mato Grosso do Sul.

O aumento da área de cultivo tem buscado orientar-se por políticas nacionais de expansão sustentável apoiada em critérios econômicos, ambientais e sociais, levando em consideração o meio ambiente e a aptidão da região, conforme previsto no zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (MAPA, 2014). O estado de Mato Grosso do Sul, com destaque para a região Leste possui condições edafoclimáticas extremamente favoráveis para o cultivo de cana-de-açúcar, potencial este que certamente será melhor explorado num futuro próximo para impulsionar o setor sucroenergético no Estado. No entanto, existe uma lacuna de informações técnicas que ainda precisam ser melhor compreendidas para otimizar o potencial produtivo da cultura para as condições edafoclimáticas específicas de cada região do estado.

Esta falta de informação técnica fica evidente quando analisamos a produtividade média da cultura no estado de Mato Grosso do Sul que, na safra 2019/2020, foi de 74,7 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2020). Essa produtividade média de colmos é considerada baixa quando comparada com o potencial de produção da cultura que é superior à 200 Mg ha⁻¹ (SANTOS; BORÉM, 2013).

Dentre os principais fatores que tem contribuído para a baixa produtividade da cana-de-açúcar no Estado as condições climáticas adversas e a baixa disponibilidade de nutrientes dos solos tropicais da região do Cerrado, têm sido apontados como os principais fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Portanto, estudos que visam avaliar e identificar variedades de cana-de-açúcar com maior potencial de desenvolvimento em condições de baixa disponibilidade de água e baixa disponibilidade de nutrientes no solo são importantes para otimizar a produção da cultura nos solos arenosos da região do Cerrado Sul-Mato-Grossense.

Estes estudos têm como finalidade trazer informações e conhecimentos relevantes que auxiliem o setor sucroenergético na tomada de decisões referentes as atividades voltadas à exploração socioeconômica da cana-de-açúcar, além de fornecer importantes informações para os programas de melhoramento genético da cultura. As informações geradas podem contribuir para o sucesso da exploração da cultura no estado de Mato Grosso do Sul, por meio da identificação de variedades com maior potencial de desenvolvimento e de adaptação às condições de restrita disponibilidade de água e de nutrientes. No entanto, a seleção e o desenvolvimento de variedades tolerantes aos estresses abióticos não é uma tarefa fácil devido ao fato de ocorrer fortes interações entre genótipos e meio ambiente.

A performance ou desempenho relativo dos genótipos de cana-de-açúcar em condições ambientais estressantes e não estressantes, parece ser o ponto de partida para a identificação e recomendação de genótipos desejáveis para condições ambientais adversas. Portanto, durante o processo de seleção de variedades mais adaptadas aos estresses abióticos devem ser considerados o cultivo da cultura sob condições ideais não estressantes e sob condições estressantes, como restrição hídrica e deficiência de nutrientes.

Vários pesquisadores têm proposto a utilização de diferentes métodos de análise multivariada e índices de seleção para avaliar as diferenças genéticas para a tolerância aos estresses abióticos. O adequado crescimento das plantas e a melhoria na estabilidade da produção dos genótipos em ambientes estressantes são importantes fatores na busca de genótipos de cana-de-açúcar superiores. No entanto, estes estudos ainda são incipientes para a cultura especialmente para as condições edafoclimáticas da região Leste do estado de Mato Grosso do Sul.

Portanto, esta dissertação apresenta em seus dois capítulos informações relevantes para a cultura da cana-de-açúcar por meio de investigações que buscaram estudar a resposta de variedades comerciais às condições de restrição hídrica, bem como determinar os melhores índices de seleção que possam contribuir para identificar os genótipos tolerantes à seca. Os

dois capítulos da dissertação utilizam, ainda, algumas das principais técnicas de análise multivariadas, como análise de agrupamento hierárquico e análise de componentes principais, e propõe o aprimoramento do método de ranqueamento. Estas técnicas ou métodos têm sido amplamente utilizados devido à possibilidade de integrar, simultaneamente, múltiplas informações, além de permitir quantificar a variância das características morfológicas de interesse agrônomo.

CAPÍTULO 1. ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS EM VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM RESPOSTA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA

RESUMO: A ocorrência de deficiência hídrica é um dos principais estresses abióticos que limitam o crescimento e a produtividade da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Portanto, estudos que buscam avaliar e identificar variedades de cana-de-açúcar com maior potencial de crescimento em condições de restrição hídrica são importantes para o setor sucroenergético. Neste contexto, um estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar as respostas morfológicas de treze variedades de cana-de-açúcar quando cultivadas em diferentes níveis de deficiência hídrica e identificar as variedades com maior e, ou menor potencial de crescimento em condições de restrição hídrica. Plantas provenientes de 13 variedades comerciais de cana-de-açúcar foram cultivadas em vasos plásticos de 12 dm³ e mantidas em condições de casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 3 × 13: três regimes hídricos [100% da capacidade de retenção de água do solo (controle), 50% do controle (restrição hídrica moderada) e 25% do controle (restrição hídrica severa)] e por treze variedades de cana-de-açúcar (CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB835054, RB855035, RB855156, RB855453, RB855536, RB867515, RB965902, RB966928 e SP80-1842), com três repetições. A restrição hídrica foi imposta por um período de 35 dias, entre os 65 e 100 dias após o transplântio das mudas quando as plantas se encontravam nos estádios de perfilhamento e crescimento do colmo. A identificação das variedades de cana-de-açúcar com desempenho superior e/ou inferior em cada um dos regimes hídricos (controle, restrição hídrica moderada e severa) foi realizada por meio da análise multivariada, utilizando-se o método de agrupamentos hierárquico da ligação de Ward, com base na distância euclidiana média padronizada (D). Os resultados evidenciaram que a exposição das plantas de cana-de-açúcar aos níveis de deficiência hídrica resultou na menor altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos por planta (NPP), área foliar (AF), volume radicular (VR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR), matéria seca total (MST) e menor razão parte aérea/raiz (MSPA/MSR) para a maioria das variedades. Por sua vez, o número de folhas por planta (NFP) não foi alterado com os níveis de deficiência hídrica. As características morfológicas da cana-de-açúcar foram eficazes para diferenciar genótipos superiores e, ou inferiores para o cultivo em condições de deficiência hídrica. Sob deficiência hídrica moderada, as variedades superiores com maior potencial de desenvolvimento foram CTC2 e RB855035, e são as variedades de cana-de-açúcar mais indicadas para serem cultivadas em condições de média

disponibilidade de água no solo. Sob deficiência hídrica severa, as variedades superiores com maior potencial de desenvolvimento foram CTC2, RB855035, RB867515 e RB966928, e são as variedades de cana-de-açúcar mais indicadas para serem cultivadas em condições extremas com pouca disponibilidade de água no solo. As variedades de cana-de-açúcar CTC4, RB825336 e SP80-1842 possuem menor potencial de desenvolvimento em condições de deficiência hídrica moderada e severa, e não devem ser recomendadas para o cultivo em região com ocorrência restrição hídrica. As variedades de cana-de-açúcar CTC2 e RB855035 possuem desempenho superior tanto quando cultivadas em condições de adequada disponibilidade de água como em condições de restrição hídrica indicando que estes genótipos possuem alta adaptabilidade aos distintos ambientes de produção.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; Análise multivariada; Estresse abiótico; Genótipo superior; Tolerância à seca.

MORPHOLOGICAL CHANGES IN SUGARCANE GENOTYPES IN RESPONSE TO WATER DEFICIT

ABSTRACT: The occurrence of water deficit is one of the main abiotic stresses that limit the growth and productivity of sugarcane (*Saccharum* spp.). Therefore, studies that seek to evaluate and identify sugarcane varieties with greater growth potential in conditions of water restriction are important for the sugarcane production sector. In this context, a study was conducted with the objective of evaluating the morphological responses of thirteen sugarcane varieties when cultivated at different levels of water deficit and to identify the varieties with greater and or lesser growth potential under conditions of water restriction. Plants from 13 commercial varieties of sugar cane were grown in 12 dm³ plastic pots and kept in greenhouse conditions. The experimental design used was randomized blocks, arranged in a 3 × 13 factorial scheme: three levels of irrigation management [100% of the soil's water retention capacity (control), 50% of the control (moderate stress) and 25% control (severe stress)] and thirteen varieties of sugarcane (CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB835054, RB855035, RB855156, RB855536, RB855536, RB867515, RB965902, RB966928 and RB9669) three repetitions. Water restriction was imposed for a period of 35 days, between 65 and 100 days after transplanting the seedlings when the plants were in the tillering and stalk growth stages. The identification of the sugarcane varieties with superior and / or inferior performance in each of the cultivation environments (control, moderate and severe water

restriction) was carried out through multivariate analysis, using the hierarchical clustering method of Ward connection, based on the standardized average Euclidean distance (D). The results showed that the exposure of sugarcane plants to water deficiency levels resulted in the lowest plant height (PH), stem diameter (SD), number of tillers per plant (NTP), leaf area (LA), root volume (RV), shoot dry matter (SDM), root dry matter (RDM), total dry matter (TDM) and shoot/root ratio (SDM/RDM) for most varieties. In turn, the number of leaves per plant (NFLP) did not change with the levels of water deficiency. The morphological characteristics of sugarcane were effective to differentiate superior and, or inferior genotypes for cultivation under water deficient conditions. Under moderate water deficiency, the superior varieties with the greatest potential for development were CTC2 and RB855035, and are the most suitable sugarcane varieties to be grown under conditions of medium water availability in the soil. Under severe water deficiency, the top varieties with the greatest potential for development were CTC2, RB855035, RB867515 and RB966928, and are the most suitable sugarcane varieties to be grown in extreme conditions with little water availability in the soil. The sugarcane varieties CTC4, RB825336 and SP80-1842 have less development potential in conditions of moderate and severe water deficiency, and should not be recommended for cultivation in a region with water restriction. The sugarcane varieties CTC2 and RB855035 have superior performance both when grown under conditions of adequate water availability and under conditions of water restriction indicating that these genotypes have high adaptability to different production environments.

Keywords: *Saccharum* spp.; Multivariate analysis; Abiotic stress; Superior genotype; Drought tolerance.

1.1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), com uma área plantada na ordem de 8,48 milhões de hectares e produção de 643 milhões de toneladas de colmos produzidos na safra 2019/2020 (CONAB, 2020). A produtividade brasileira estimada na safra 2019/2020 foi de 75,8 Mg ha⁻¹, considerada baixa quando comparada com o potencial de produção da cultura que é superior à 200 Mg ha⁻¹ (SANTOS; BORÉM, 2013). A ocorrência de adversidades climáticas, especialmente a deficiência hídrica tem sido apontada como um dos principais fatores que contribuem para a baixa produtividade da cultura no Brasil (SILVA et al., 2008; PINCELLI; SILVA, 2012).

A frequência e a intensidade da deficiência hídrica constituem os fatores mais importantes à limitação do crescimento das plantas e da produção da cana-de-açúcar. Na região do Cerrado, a ocorrência de deficiência hídrica tem sido frequente e as perdas, na produtividade de colmos podem chegar à 70% em alguns anos (MARIN et al., 2013). Portanto, estudos que visam identificar variedades com maior tolerância à seca são importantes para impulsionar a produção agrícola em regiões com ocorrência de deficiência hídrica, como a região do Cerrado.

A restrição hídrica afeta diversos processos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos nas plantas, e as respostas das plantas de cana-de-açúcar à restrição hídrica dependem do genótipo, do estágio de desenvolvimento da planta, da severidade e da duração da restrição hídrica, dentre outros fatores ambientais (PINCELLI; SILVA, 2012; VIEIRA et al., 2014). Plantas expostas às condições de deficiência hídrica possuem redução da condutância estomática, da taxa de transpiração, da área foliar, da taxa fotossintética, redução da taxa de crescimento relativo (SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2008; PATANÈ et al., 2013; NAGHAVI et al., 2013; VIEIRA et al., 2014), além, de modificações na atividade das enzimas do metabolismo do nitrogênio e carbono e mudanças nos níveis de antioxidantes (FLEXAS et al., 2006).

Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam reduzir os efeitos adversos da deficiência hídrica, constituindo, portanto, mecanismos de tolerância à seca. De acordo com Nepomuceno et al. (2001), a identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca são fatores fundamentais para o desenvolvimento de novas variedades comerciais com maior tolerância à deficiência hídrica.

As variedades de cana-de-açúcar podem possuir mecanismos diferenciados de tolerância à seca. Estes mecanismos visam manter o crescimento e o desenvolvimento das plantas em condições de baixa disponibilidade de água no solo. As principais características para tolerância à seca das variedades estão relacionadas à eficiência do uso da água pelas plantas, à redução na área foliar, à redução da altura das plantas e à capacidade das raízes em explorar camadas mais profundas do solo (PINCELLI; SILVA, 2012; FERREIRA et al., 2017).

Diferenças genéticas na tolerância à seca têm sido reportadas em variedades brasileiras de cana-de-açúcar (SILVÉRIO et al., 2017), o que pode ser útil na identificação de genótipos mais adaptados ao cultivo em regiões com longos períodos de restrição hídrica durante o ano. No entanto, a identificação de genótipos tolerantes à seca não é uma tarefa fácil devido ao fato de ocorrer fortes interações entre genótipos e ambiente, além do conhecimento

restrito a respeito da função e do papel dos mecanismos de tolerância (NAGHAVI et al., 2013).

Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar as respostas morfológicas de treze variedades de cana-de-açúcar quando cultivadas em níveis de deficiência hídrica e identificar aquelas com maior e, ou menor potencial de crescimento em condições de restrição hídrica.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Localização e Caracterização do experimento

A pesquisa foi realizada em casa de vegetação climatizada na Estação Experimental Agrônômica na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, em Cassilândia, MS (19°05'30" S; 51°48'50" W e altitude média de 540 m), no período de novembro de 2018 a abril de 2019. As condições ambientais no interior da casa de vegetação durante a condução do experimento foram de 26 °C (± 2 °C) à temperatura média do ar e 68% ($\pm 6\%$) à umidade relativa do ar.

Foram utilizados vasos plásticos com 12 dm³ de capacidade, preenchidos com 11 dm³ de solo arenoso peneirado em malha de 5,0 mm, proveniente da camada superficial de 0,0–0,20 m de um Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico – NQo (SANTOS et al., 2018), coletado em uma área de pastagem nativa sem histórico de cultivo agrícola. As principais características químicas do solo foram as seguintes: pH (CaCl₂) = 4,6, matéria orgânica = 14 g dm⁻³, P (Mehlich⁻¹) = 7,8 mg dm⁻³, K⁺ = 0,16 cmol_c dm⁻³, Ca²⁺ = 1,50 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺ = 0,50 cmol_c dm⁻³, H⁺ + Al³⁺ = 3,60 cmol_c dm⁻³, Al³⁺ = 0,25 cmol_c dm⁻³, CTC = 5,80 cmol_c dm⁻³ e 38% de saturação por bases. Todas as análises químicas foram efetuadas seguindo indicações de Teixeira et al. (2017). A capacidade de retenção de água do solo sob condições de drenagem livre foi mensurada usando a taxa de decréscimo do teor de água de 0,1 g kg⁻¹ dia⁻¹ como sugerido por Casaroli e Lier (2008), e o valor da capacidade máxima do solo em reter água foi de 210 g kg⁻¹.

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação de 1,10 g de calcário por dm³ de solo (CaO: 38%; MgO: 11%; PRNT: 85%; e, PN: 62%), visando elevar a saturação por base do solo a 70% (SOUSA; LOBATO, 2004). Após a aplicação do calcário, o solo foi homogeneizado, umedecido até alcançar 80% da capacidade de retenção de água, e incubado por 30 dias. Decorrido esse período, o solo foi fertilizado com 50 mg dm⁻³ de N (ureia), 250 mg dm⁻³ de P (superfosfato simples), 100 mg dm⁻³ de K (cloreto de potássio), 15 mg dm⁻³ de

S (gesso agrícola), 2 mg dm⁻³ de Cu (sulfato de cobre), 2 mg dm⁻³ de Zn (sulfato de zinco), 1 mg dm⁻³ de Mo (molibdato de amônio) e 1 mg dm⁻³ de B (ácido bórico), seguindo as recomendações de Novais et al. (1991) para ensaios em vasos sob condições de casa de vegetação. Aos 30 e 60 dias após o transplântio das mudas de cana-de-açúcar também foram aplicados 50 mg dm⁻³ de N em cobertura na forma de ureia (45% de N).

1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 3 × 13, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por três níveis de manejo da irrigação [100% da capacidade de retenção de água do solo (controle), 50% do controle (estresse moderado) e 25% do controle (estresse severo)] e por treze variedades de cana-de-açúcar (Tabela 1). Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico de 12 L contendo uma planta, perfazendo um total de 117 vasos.

Tabela 1. Principais características agrônômicas das 13 variedades de cana-de-açúcar utilizadas no estudo

Variedade	Exigência em ambientes	Velocidade de crescimento	Potencial de perfilhamento	Porte
CTC2	Média-Alta restrição	Rápido	Alto	Alto
CTC4	Alta-Média restrição	Regular	Médio	Alto
IACSP95-5000	Alta restrição	Regular	Médio	Médio
RB825336	Baixa restrição	Regular	Alto	Médio
RB835054	Média-Alta restrição	Lento	Médio	Médio
RB855035	Baixa-Média restrição	Regular	Médio	Médio
RB855156	Baixa-Média restrição	Rápida	Médio	Médio
RB855453	Alta restrição	Regular	Médio	Médio
RB855536	Alta restrição	Regular	Médio	Médio
RB867515	Média restrição	Rápido	Médio	Alto
RB965902	Média restrição	Rápido	Alto	Alto
RB966928	Média restrição	Rápido	Alto	Médio
SP80-1842	Alta restrição	Lento	Médio	Médio

1.2.3 Implantação e condução do experimento

O transplântio das mudas pré-brotadas (MPB) das variedades de cana-de-açúcar para os vasos plásticos foi realizado aos 18 dias após a brotação. Os minirrebolos (segmentos de colmos com gemas individualizadas) de 3,0 cm de comprimento utilizados para a produção das mudas pré-brotadas foram extraídos de colmos-sementes provenientes de um viveiro de

multiplicação de 10 meses de idade das treze variedades de cana-de-açúcar, localizado na Estação Experimental Agronômica, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, em Cassilândia (MS). As mudas pré-brotadas foram produzidas em caixas plásticas (42 × 28 × 6 cm), preenchidas com substrato comercial (BioPlant®). As principais características das variedades de cana-de-açúcar são mostradas na Tabela 1.

Após o transplântio as plantas foram mantidas em condições controladas de casa de vegetação por um período total de 100 dias. Durante os primeiros 65 dias, todos os tratamentos foram diariamente irrigados para manter o conteúdo de água próximo a 100% da capacidade de retenção de água do solo. Posteriormente, a imposição da restrição hídrica (50% e 25% da capacidade de retenção de água do solo) foi realizada por um período de 35 dias. O conteúdo de água no solo foi monitorado diariamente nos períodos da manhã e da tarde (9:00 e 15:00 horas) com o sensor Three-way Meter, instalado no centro dos vasos de cada tratamento, na profundidade de 12 cm.

1.2.4 Avaliações morfológicas

Após os 35 dias de exposição à deficiência hídrica, as plantas foram retiradas dos vasos, e as raízes lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 1,0 mm, para remoção do solo. Em seguida, foram mensuradas as seguintes características morfológicas: altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas por planta (NFP), número de perfilhos por planta (NPP), área foliar (AF), volume radicular (VR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR) e matéria seca total (MST). A razão parte aérea/raiz (MSPA/MSR) foi calculada dividindo-se a matéria seca da parte aérea pela massa seca do sistema radicular.

A altura de planta (AP), em centímetros, foi determinada a partir do nível do solo até a altura de inserção da folha +1 (sistema de numeração de Kuijper), utilizando uma fita métrica. O diâmetro do colmo (DC), em milímetros, foi mensurado na base do colmo principal, utilizando um paquímetro digital. O número de folhas por perfilho foi obtido por meio da divisão do número total de folhas computadas pelo número de perfilhos.

A área foliar (AF, em dm^2) foi mensurada seguindo metodologia proposta por Benincasa (2003), com modificações. Após a separação de todas as folhas das plantas, foram retirados 10 discos foliares de área conhecida ($15,0 \text{ cm}^2$), que foi considerada a área foliar da amostra (AF_{Amostra}). Em seguida, após a secagem em estufa à $65 \text{ }^\circ\text{C}$, por 72 horas, foi determinada a massa seca da amostra (MS_{Amostra}) e a massa de matéria seca das folhas (MSF). A área foliar total (AF) foi obtida por meio da seguinte equação: $AF = [(AF_{\text{Amostra}} \times MSF) /$

$MS_{\text{Amostra}}/100$. O volume radicular (VR, em cm^3) foi determinado pelo método de deslocamento de água, utilizando uma proveta de volume conhecido de água (1.000 mL) graduada em mililitros (mL), segundo metodologia descrita por Basso (1999).

A determinação da massa de matéria seca da parte aérea (folhas + colmos) e das raízes foi realizada após a secagem do material em estufa de circulação forçada de ar à $65\text{ }^\circ\text{C}$, por 72 horas, e os resultados expressos em g/planta. A matéria seca total (MST) foi obtida pela soma de todas as partes da planta (folhas, colmos e raízes). As relações entre as características medidas foram determinadas pela simples divisão entre elas.

1.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância univariada, e as médias dos níveis de deficiência hídrica e das variedades de cana-de-açúcar foram comparadas, respectivamente, pelos testes t (LSD) e Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar[®] versão 5.6 para Windows (FERREIRA, 2014).

A discriminação das variedades de cana-de-açúcar com desempenho superior e/ou inferior em cada um dos ambientes de cultivo (controle, restrição hídrica moderada e severa) foi realizada com base em todas as características morfológicas das plantas por meio da análise multivariada, utilizando o método de agrupamentos hierárquico. A distância genética entre todos os pares de genótipos foi estimada por meio da distância Euclidiana média padronizada (D), utilizando o software estatístico Action Stat Pro[®] versão 3.6 para Windows (Estatcamp – Consultoria Estatística e Qualidade, Campinas, SP). Com base nas matrizes de dissimilaridade genética geradas foi construído um dendrograma pelo método hierárquico de agrupamento de variância mínima de Ward (CRUZ; CARNEIRO, 2003). O valor de 50% de similaridade foi utilizado como critério para definir e separar os grupos de genótipos superiores e/ou inferiores em cada um dos ambientes de cultivo, como utilizado por Cargnelutti-Filho et al. (2008).

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância reportou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) da interação entre os fatores variedades de cana-de-açúcar e nível de deficiência hídrica para a maioria das características morfológicas das plantas, exceto para altura de planta, diâmetro do colmo e número de perfilhos por planta (Tabela 2). A existência de interação significativa para a

maioria das características morfológicas das plantas indica que as variedades de cana-de-açúcar possuem respostas distintas quando são expostas à níveis de deficiência hídrica.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os efeitos dos fatores variedades e níveis de deficiência hídrica nas características morfológicas das plantas de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Causas de Variação	Probabilidade > F				
	AP	DC	NPP	NFP	AF
Bloco	<0,000	0,021	0,113	0,215	0,054
Variedade (V)	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000
Deficiência hídrica (D)	<0,000	0,003	0,424	<0,000	<0,000
Interação (V × D)	0,421	0,939	0,443	<0,000	<0,000
CV (%)	10,71	8,48	13,48	9,25	12,18

Causas de Variação	Probabilidade > F				
	VR	MSPA	MSR	MST	MSPA/MSR
Bloco	0,014	<0,000	0,002	0,082	<0,000
Variedade (V)	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000
Deficiência hídrica (D)	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000
Interação (V × D)	0,010	<0,000	0,001	<0,000	<0,000
CV (%)	10,3	8,30	12,93	6,91	13,90

AP: altura de planta. DC: diâmetro de colmo. NPP: número de perfilhos por planta. NFP: número de folhas por perfilho. AF: área foliar. VR: volume radicular. MSPA: massa seca da parte aérea. MSR: massa seca de raiz. MST: massa seca total. MSPA/MSR: razão parte aérea/raiz.

A altura de planta foi maior nas variedades RB855035 e RB965902, e menor na variedade de cana-de-açúcar IACSP95-5000 (Tabela 3). O diâmetro de colmo foi maior nas variedades RB855453 e RB867515, e menor nas variedades de cana-de-açúcar CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855035, RB855536 e SP801842 (Tabela 3). O NPP foi maior na variedade CTC2, seguida das variedades CTC4, RB825336, RB855035 e RB855536, e menor potencial de perfilhamento nas variedades RB835054, RB855453 e RB867515 (Tabela 3). Essas diferenças entre as variedades de cana-de-açúcar para as principais características de crescimento e desenvolvimento das plantas podem ser devido a característica e a variabilidade genética dos genótipos de cana-de-açúcar utilizados neste estudo. A altura de planta, o diâmetro do colmo e o potencial de perfilhamento de uma variedade de cana-de-açúcar são características morfológicas determinadas pela característica genética do genótipo, e afetadas pelas condições edafoclimáticas do ambiente de cultivo (Inman-Bamber e Smith, 2005).

Tabela 3. Efeito dos níveis de deficiência hídrica na altura de planta, diâmetro do colmo e número de perfilhos por planta para as 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Variedade	Nível de deficiência hídrica			Média
	Controle (100% CRA)	Moderada (50% CRA)	Severa (25% CRA)	
Altura de planta (cm)				
CTC2	107,0	77,7	76,0	86,9 b
CTC4	95,0	75,7	69,0	79,9 c
IACSP95-5000	71,3	47,0	45,7	54,7 e
RB825336	87,7	71,0	57,3	72,0 d
RB835054	77,3	58,3	62,0	65,9 d
RB855035	106,3	94,7	84,7	95,2 a
RB855156	92,0	71,3	61,3	74,9 c
RB855453	94,0	68,3	66,7	76,3 c
RB855536	81,3	57,7	50,0	63,0 d
RB867515	95,0	80,3	65,7	80,3 c
RB965902	89,0	84,3	64,0	79,1 c
RB966928	110,7	92,0	76,6	93,1 a
SP80-1842	91,3	85,0	80,3	85,6 b
Média	92,1 A	74,1 B	66,1 C	
Diâmetro do colmo (mm)				
CTC2	20,6	19,3	17,7	19,2 c
CTC4	19,9	20,4	18,6	19,6 c
IACSP95-5000	20,3	19,7	19,2	19,8 c
RB825336	19,5	20,1	19,5	19,7 c
RB835054	22,1	21,2	20,2	21,1 b
RB855035	19,3	19,5	20,0	19,6 c
RB855156	21,3	21,6	19,3	20,7 b
RB855453	26,3	24,1	22,2	24,2 a
RB855536	20,5	19,5	19,3	19,7 c
RB867515	24,8	24,1	23,1	24,0 a
RB965902	21,0	22,6	19,9	21,2 b
RB966928	22,0	21,0	21,3	21,4 b
SP80-1842	19,4	19,0	18,9	19,1 c
Média	21,3 A	20,9 A	19,9 B	
Número de perfilhos por planta				
CTC2	10,33	11,00	8,33	9,89 a
CTC4	8,67	8,33	8,33	8,44 b
IACSP95-5000	7,00	7,33	7,33	7,22 c
RB825336	9,00	9,33	6,67	7,78 b
RB835054	5,33	5,00	6,00	5,44 d
RB855035	8,33	7,67	7,33	7,78 b
RB855156	6,67	7,00	6,67	6,78 c
RB855453	5,33	6,00	5,67	5,67 d
RB855536	7,00	7,67	7,33	7,89 b
RB867515	6,00	5,33	6,67	6,00 d
RB965902	7,33	6,00	7,33	6,89 c
RB966928	5,67	8,33	7,33	7,11 c
SP80-1842	8,00	7,33	5,67	7,00 c
Média	7,28 A	7,41 A	6,97 A	

Média seguida pela mesma letra maiúscula na linha para os níveis de deficiência hídrica, e letra minúscula na coluna para as variedades de cana-de-açúcar não diferem, respectivamente, pelo teste t (LSD) e teste Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de probabilidade.

Os níveis de deficiência hídrica afetaram a altura e o diâmetro do colmo das plantas de cana-açúcar, ao passo que o número de perfilhos por planta não foi influenciado pelos níveis de deficiência hídrica (Tabela 3). A exposição das plantas de cana-de-açúcar aos níveis de deficiência hídrica resultou no menor crescimento em altura e em diâmetro das plantas, especialmente em condições de restrição hídrica severa. O nível de deficiência hídrica moderada e severa resultou na redução média de 19% e 28% na altura das plantas, respectivamente, quando comparado às plantas em condições controle. Por sua vez, as plantas expostas à restrição hídrica severa tiveram, em média, redução de 6% no diâmetro do colmo quando comparadas às plantas em condições controle. Estes resultados indicam que a menor disponibilidade de água no solo limitou o crescimento das plantas de cana-de-açúcar. Resultados semelhantes foram relatados por Maia Júnior et al. (2018), os quais constataram que a altura das plantas de cana-de-açúcar foi reduzida em 38% quando expostas às condições de restrição hídrica severa.

A deficiência hídrica é um importante estresse abiótico que por alterar diversos processos metabólicos da planta, afeta diretamente o seu crescimento e desenvolvimento. Segundo Inman-Bamber e Smith (2005), a altura da planta é uma característica morfológica altamente sensível à restrição hídrica por ser o crescimento o resultado da divisão e do alongamento celular, levando a redução da assimilação do CO₂ e desenvolvimento da planta (Taiz et al., 2017).

Efeitos negativos da restrição hídrica no crescimento das plantas de cana-de-açúcar também foram reportados por Batista et al. (2015), os quais avaliando os efeitos da deficiência hídrica nas características morfológicas das variedades RB92579, RB855453, RB867515 e RB928064, verificaram redução de até 60% na altura e de até 25% no diâmetro do colmo das plantas expostas à restrição hídrica severa. Avaliando o crescimento das variedades de cana-de-açúcar RB835486 e RB867515 em duas condições de disponibilidade hídrica, Macêdo et al. (2012) também constataram que a deficiência hídrica resultou no menor diâmetro dos colmos. No entanto, Oliveira et al. (2010) afirmaram que a restrição hídrica tem pouco efeito em modificar a espessura do diâmetro dos colmos de cana-de-açúcar, principalmente porque esta característica morfológica tem maior influência do material genético do que das condições ambientais de cultivo.

No entanto, o maior ou menor impacto negativo da deficiência hídrica no crescimento em altura das plantas de cana-de-açúcar é determinado pela característica genética de tolerância do genótipo à condição de restrição hídrica (SILVA et al., 2008; MACHADO et al., 2009). Avaliando o desenvolvimento de 25 variedades de cana-de-açúcar

em diferentes níveis de deficiência hídrica, Silva et al. (2008) reportaram que apenas dez genótipos de cana-de-açúcar foram considerados tolerantes ao avaliar a altura sob condições de baixa disponibilidade de água do solo. Estes autores também reportaram as diferenças na altura das plantas quando cultivadas sob condições de restrição hídrica podem ser um indicativo de tolerância e/ou suscetibilidade da variedade de cana-de-açúcar.

O potencial de perfilhamento das plantas de cana-de-açúcar não foi influenciado pelas condições de deficiência hídrica moderada e severa (Tabela 3). Resultados contrários foram reportados por Oliveira et al. (2010), os quais avaliando as características morfológicas de 11 variedades de cana-de-açúcar sob condições de restrição hídrica, constataram que a taxa de perfilhamento da maioria das variedades de cana-de-açúcar foi limitado pela menor disponibilidade de água do solo. De modo similar, avaliando o potencial de produção de 78 genótipos de cana-de-açúcar sob condições de restrição hídrica, Silva et al. (2008) reportaram redução de 16% no número de perfilhos por planta.

Considerando que a deficiência hídrica pode ocorrer durante todo o ciclo da cultura, os efeitos adversos da restrição hídrica na produtividade de colmos estão diretamente relacionados com o estágio de desenvolvimento da planta (OLIVEIRA et al., 2016), com a intensidade e duração da restrição hídrica (verânico ou seca prolongada) e com velocidade de exposição da restrição hídrica (SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2008). A cultura da cana-de-açúcar é, particularmente, suscetível à deficiência hídrica durante a fase de brotação e estabelecimento das plantas e na fase de perfilhamento, período compreendido do plantio até os 90-120 dias (OLIVEIRA et al., 2016). A ocorrência de deficiência hídrica durante estas fases iniciais de desenvolvimento pode acarretar na redução da condutância estomática, da taxa de fotossíntese, e menor potencial de perfilhamento e menor altura de planta (ZHAO et al., 2010), podendo ocorrer perdas significativas de produção de colmos, dependendo da duração e intensidade da restrição hídrica (SILVA et al., 2008). Segundo Landell e Silva (2004), as principais características morfológicas que possuem efeito direto no potencial de produção da cultura são altura de planta, diâmetro de colmo e número de perfilhos.

Os resultados para o número de folhas por perfilho, área foliar e volume radicular das variedades de cana-de-açúcar em função dos níveis de deficiência hídrica são mostrados na Tabela 4. Em condições controle sem restrição hídrica, o número de folhas variou de 7,25 a 9,28 folhas por perfilho, sendo maior nas variedades RB835054, RB855035, RB855453, RB867515, RB965902 e RB 966928. Em condições de deficiência hídrica moderada, o número de folhas foi maior nas variedades RB835054, RB855453 e RB867515, e menor nas variedades CTC2, RB825336, RB855536 e RB966928.

Tabela 4. Efeito dos níveis de deficiência hídrica no número de folhas, área foliar e volume radicular das 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Variedade	Nível de deficiência hídrica			Média
	Controle (100% CRA)	Moderada (50% CRA)	Severa (25% CRA)	
Número de folhas por perfilho				
CTC2	7,74 bA	6,82 cB	6,40 cB	6,99
CTC4	7,31 bA	7,32 bA	6,72 cA	7,12
IACSP95-5000	7,81 bA	7,95 bA	7,50 bA	7,75
RB825336	7,63 bA	6,74 cB	7,80 aA	7,39
RB835054	8,44 aA	8,93 aA	7,28 bB	8,22
RB855035	8,48 aA	7,65 bB	6,36 cC	7,50
RB855156	8,70 bA	7,86 bA	8,00 aA	8,19
RB855453	9,25 aA	8,39 aB	8,76 aB	8,80
RB855536	8,10 bA	6,07 cC	7,59 bB	7,25
RB867515	9,28 aA	8,75 aA	7,15 bB	8,39
RB965902	8,45 aA	8,17 aA	6,95 bB	7,86
RB966928	9,00 aA	6,24 cC	7,55 bB	7,60
SP80-1842	7,25 bA	7,23 bA	7,82 aA	7,43
Média	8,26	7,55	7,38	
Área foliar (dm ² /planta)				
CTC2	89,6 aA	57,9 cB	54,8 aB	67,4
CTC4	55,3 dA	50,5 cA	40,4 bB	48,4
IACSP95-5000	87,7 aA	71,2 aB	54,7 aC	71,2
RB825336	77,5 bA	61,6 bB	55,3 aB	64,8
RB835054	75,1 bA	57,4 cB	54,4 aB	62,3
RB855035	84,7 aA	79,9 aA	48,4 aB	70,7
RB855156	87,4 aA	56,5 cB	48,9 aB	64,2
RB855453	65,5 cA	64,6 bA	49,1 aB	59,7
RB855536	57,4 dA	60,9 bA	45,6 aB	54,6
RB867515	78,3 bA	52,8 cB	47,6 aB	59,6
RB965902	66,2 cA	49,5 cB	41,7 bB	52,5
RB966928	54,2 dA	49,2 cA	40,4 bA	47,9
SP80-1842	54,5 dA	48,2 cA	30,6 bB	44,4
Média	71,7	58,4	47,1	
Volume radicular (cm ³ /planta)				
CTC2	543,3 aA	500,0 aA	340,0 bB	461,1
CTC4	546,7 aA	453,3 aB	350,0 bC	450,0
IACSP95-5000	496,7 bA	453,3 aA	420,0 aA	456,7
RB825336	560,0 aA	410,0 bB	340,0 bB	436,7
RB835054	543,3 aA	480,0 aB	386,7 aC	470,0
RB855035	586,7 aA	523,3 aA	420,0 aB	510,0
RB855156	566,7 aA	340,0 bB	286,7 bB	397,8
RB855453	433,3 bA	365,3 bB	339,7 bB	379,4
RB855536	606,7 aA	433,3 aB	406,7 aB	482,2
RB867515	580,0 aA	493,3 aA	363,3 bB	478,0
RB965902	630,0 aA	445,0 aB	413,3 aB	496,1
RB966928	520,0 bA	376,7 bB	363,3 bB	420,0
SP80-1842	506,7 bA	413,3 bB	343,3 bB	421,1
Média	547,7	437,7	367,0	

Média seguida pela mesma letra maiúscula na linha para os níveis de deficiência hídrica, e letra minúscula na coluna para as variedades de cana-de-açúcar não diferem, respectivamente, pelo teste t (LSD) e teste Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de probabilidade.

Por sua vez, quando as plantas foram expostas à deficiência hídrica severa, as variedades RB825336, RB855156, RB855453 e SP80-1842 tiveram maior número de folhas por perfilho quando comparado as demais variedades de cana-de-açúcar (Tabela 4). Ao comparar as variedades de cana-de-açúcar nas diferentes condições de disponibilidade hídrica, constatou que as variedades CTC4, IACSP95-5000, RB855156 e SP80-1842 apresentaram maior quantidade de folhas por perfilho em todos os ambientes de cultivo, ao passo que para as demais variedade de cana-de-açúcar o número de folhas por perfilho foi reduzido com os níveis de restrição hídrica (Tabela 4).

O menor número de folha por perfilho em diferentes variedades de cana-de-açúcar em condições de deficiência hídrica também foi constatado por Pincelli e Silva (2012). Avaliando o crescimento de quatro variedades de cana-de-açúcar RB855453, RB92579, RB965902 e RB965917 em condições controle e de restrição hídrica moderada, Holanda et al. (2014) verificaram que as variedades RB855453 e RB92579 tiveram maior redução no número de folhas por perfilho em condições de deficiência hídrica. A redução da taxa de emissão de folhas em condições de deficiência hídrica tem sido considerada uma estratégia da planta para reduzir a taxa de transpiração e com isso reduzir o gasto metabólico (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; SMIT; SINGELS, 2006; INMAN-BAMBER et al., 2008), no entanto, esta estratégia está condicionada à reposta que é específica do genótipo (SMIT; SINGELS, 2006). A redução do número de folhas por perfilho tem sido uma resposta das plantas de cana-de-açúcar para garantir a sua sobrevivência a períodos relativamente longo de escassez de água no solo.

Em condições controle sem restrição hídrica, a área foliar foi maior nas variedades CTC2, IACSP95-5000, RB855035 e RB855156, e menor nas variedades CTC4, RB855536, RB966928 e SP80-1842 (Tabela 4). Quando as plantas foram expostas à deficiência hídrica moderada, a área foliar foi maior nas variedades IACSP95-5000 e RB855035, ao passo que a menor área foliar foi obtida nas variedades CTC2, CTC4, RB835054, RB855156, RB867515, RB965902, RB966928 e SP80-1842. Em condições de deficiência hídrica severa, a área foliar das variedades CTC2, IACSP95-5000, RB825336, RB835054, RB855035, RB855156, RB855453, RB855536, RB867515 foi maior quando comparado às demais variedades de cana-de-açúcar (Tabela 4). Ao comparar as variedades de cana-de-açúcar dentro dos níveis de deficiência hídrica pode-se verificar que as variedades IACSP95-5000 e RB855035 apresentaram maior área foliar em todos os ambientes de cultivo, indicando uma possível tolerância dessas variedades de manter seu desenvolvimento mesmo em condições de baixa disponibilidade de água no solo.

Maia-Júnior et al. (2018) avaliaram o efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento das variedades RB72910, RB99382, RB72454, RB92579, RB855536 e RB931011, e constataram redução de 44% na área foliar quando as plantas foram expostas às condições de deficiência hídrica severa. A redução da área foliar em plantas de cana-de-açúcar submetida à restrição hídrica tem sido relatada por diversos autores (PINCELLI; SILVA, 2012; HOLANDA et al. 2014; RODOLFO-JÚNIOR et al. 2018). A menor área foliar resulta na diminuição da interceptação da radiação solar (SANTOS; CARLESSO, 1998), reduzindo a taxa de transpiração, a taxa fotossintética e iniciação da senescência e abscisão das folhas (TAIZ et al., 2017).

O volume radicular das variedades CTC2, CTC4, RB825336, RB835054, RB855035, RB855156, RB855536, RB867515 e RB965902 foi maior quando comparado às demais variedades de cana-de-açúcar em condições controle ser restrição hídrica (Tabela 4). Em condições de deficiência hídrica moderada, o volume radicular foi maior nas variedades CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB835054, RB855035, RB855536, RB867515 e RB965902 quando comparado às demais variedades. Quando as plantas foram expostas à deficiência hídrica severa, o volume radicular foi maior nas variedades IACSP95-5000, RB835054, RB855035, RB855536 e RB965902 (Tabela 4).

As variedades RB835054, RB855035, RB855536 e RB965902 apresentaram maior quantidade de volume radicular em todas as condições de disponibilidade hídrica do solo (Tabela 4). Khonghintaiong et al. (2018) afirmaram que em condições de deficiência hídrica as plantas de cana-de-açúcar utilizam alguns mecanismos de resistência para se adaptar as condições de baixa disponibilidade hídrica, e o maior volume do sistema radicular é um desses mecanismos de adaptação para permitir que as plantas possam absorver água em camadas mais profundas do solo. O maior volume do sistema radicular aumenta a área superficial de contato das raízes com o solo e por isso pode absorver mais água. Além disso, em períodos de escassez de água há maior expansão das raízes para explorar o perfil do solo em busca de umidade (SANTOS; CARLESSO, 1998).

As características de desenvolvimento das raízes são relevantes para identificar variedades com maior capacidade de adaptação às condições de deficiência hídrica. Na cultura da cana-de-açúcar, o desenvolvimento de raízes profundas pode ser utilizado como critério de seleção de genótipos tolerantes a deficiência hídrica (LAKSHMANAN et al., 2005). Endres et al. (2010) afirmaram que tolerância de genótipos de cana-de-açúcar à restrição hídrica está diretamente associada a maior densidade das raízes, por garantir a

absorção de água e de nutrientes e melhorar o desenvolvimento das plantas em condições de restrição hídrica.

Os resultados reportaram efeito significativo ($P < 0,05$) para a interação entre os fatores variedades de cana-de-açúcar e nível de deficiência hídrica para a produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e total (Tabela 5). Em condições controle sem restrição hídrica, a matéria seca da parte aérea variou de 246,6 a 129,0 g/planta, e foi maior nas variedades RB855035, RB855453 e SP80-1842, e menor nas variedades IACSP95-5000, RB855536 e RB867515. Quando as plantas foram expostas à deficiência hídrica moderada, a matéria seca da parte aérea variou de 88,6 a 196,2 g/planta, e foi maior nas variedades RB855035 e RB965902, enquanto a menor matéria seca da parte aérea foi obtida na variedade RB855536. Em condições de deficiência hídrica severa, a matéria seca da parte aérea variou de 147,8 a 77,4 g/planta, e foi maior na variedade RB966928, e menor nas variedades de cana-de-açúcar CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855536, RB965902 e SP80-1842 (Tabela 5).

A exposição das plantas aos níveis de deficiência hídrica resultou na menor produção de matéria seca em todas as variedades de cana-de-açúcar. O nível de deficiência hídrica moderada e severa resultou na redução, média, de 16% e 43% na produção da matéria seca da parte aérea das plantas, respectivamente, quando comparado às plantas em condições controle. Pincelli e Silva (2012) também reportaram menor produção de matéria seca da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar em condições de deficiência hídrica. Holanda et al. (2014) constataram que houve redução de 44,7% na produção da matéria seca da parte aérea das plantas em condições de deficiência hídrica.

A produção de matéria seca das raízes em condições controle sem restrição hídrica foi maior nas variedades RB855536 e RB965902, ao passo que a menor produção de matéria seca das raízes foi obtida nas variedades CTC4, RB855453 e RB966928 (Tabela 5). Quando as plantas foram expostas à restrição hídrica moderada, a maior produção de matéria seca das raízes foi obtida na variedade RB855035, ao passo que as variedades CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855156, RB855453, RB855536, RB965902, RB966928 e SP80-1842 apresentaram menor matéria seca das raízes.

Tabela 5. Efeito dos níveis de deficiência hídrica na produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e total das 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Variedade	Nível de deficiência hídrica			Média
	Controle (100% CRA)	Moderada (50% CRA)	Severa (25% CRA)	
Matéria seca da parte aérea (g/planta)				
CTC2	198,6 bA	148,3 cB	121,9 bC	156,3
CTC4	173,6 cA	136,3 cB	85,9 cC	131,9
IACSP95-5000	144,6 dA	129,3 cA	86,2 cB	121,4
RB825336	169,4 cA	138,2 cB	82,8 cC	130,1
RB835054	169,0 cA	159,6 bA	105,2 bB	144,6
RB855035	246,6 aA	190,5 aB	127,5 bC	188,2
RB855156	180,8 cA	176,3 bA	107,2 bB	154,5
RB855453	226,8 aA	174,4 bB	116,7 bC	172,6
RB855536	129,0 dA	88,6 dB	85,6 cB	101,1
RB867515	149,0 dA	145,3 cA	115,4 bB	139,1
RB965902	199,7 bA	196,2 aA	92,9 cB	165,8
RB966928	168,4 cA	169,7 bA	147,8 aB	162,0
SP80-1842	228,2 aA	136,8 cB	77,4 cC	147,5
Média	183,4	152,8	104,0	
Matéria seca das raízes (g/planta)				
CTC2	76,7 cA	72,7 cA	53,7 bB	67,7
CTC4	65,7 dA	56,0 cA	48,0 bB	56,6
IACSP95-5000	80,3 cA	63,0 cB	53,7 bB	65,7
RB825336	86,3 bA	57,7 cB	57,7 aB	67,2
RB835054	78,3 cA	81,7 bA	61,7 aB	73,9
RB855035	95,0 bA	117,3 aB	62,0 aC	91,4
RB855156	88,7 bA	46,0 cB	38,0 bB	57,5
RB855453	59,3 dA	54,0 cA	48,0 bA	53,8
RB855536	100,0 aA	56,7 cB	61,0 aB	72,5
RB867515	84,7 bA	80,0 bA	62,7 aB	75,1
RB965902	112,0 aA	60,3 cB	65,7 aB	79,3
RB966928	68,7 dA	57,7 cA	53,0 bA	59,8
SP80-1842	80,3 cA	52,0 cB	45,7 bB	59,3
Média	82,8	65,6	54,7	
Matéria seca total (g/planta)				
CTC2	275,3 cA	221,0 cB	175,5 bC	223,9
CTC4	241,3 dA	190,3 dB	133,9 cC	188,5
IACSP95-5000	229,0 dA	192,3 dB	139,9 cC	187,1
RB825336	255,7 cA	195,8 dB	140,5 cC	197,3
RB835054	246,3 dA	242,2 cA	166,9 bB	218,5
RB855035	341,6 aA	307,8 aB	189,5 aC	279,6
RB855156	266,1 cA	224,8 cB	145,2 cC	212,0
RB855453	286,1 bA	228,4 cB	164,3 bC	226,4
RB855536	229,0 dA	145,3 eB	146,6 cB	173,6
RB867515	233,7 dA	231,7 cA	178,1 bB	214,5
RB965902	311,7 bA	264,9 bB	158,6 cC	245,1
RB966928	229,1 dA	235,4 cA	200,8 aB	221,8
SP80-1842	308,5 bA	188,9 dB	123,1 cC	206,8
Média	265,5	220,8	158,7	

Média seguida pela mesma letra maiúscula na linha para os níveis de deficiência hídrica, e letra minúscula na coluna para as variedades de cana-de-açúcar não diferem, respectivamente, pelo teste t (LSD) e teste Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de probabilidade.

Em condições de deficiência hídrica severa, as variedades RB825336, RB835054, RB855035, RB855536, RB867515 e RB965902 apresentaram maior produção de matéria seca das raízes quando comparado às demais variedades de cana-de-açúcar. As variedades RB855453 e RB966928 não foram influenciadas pelos níveis de restrição hídrica.

A menor disponibilidade de água no solo pode limitar o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, tem-se menor acúmulo de matéria seca das raízes (MACHADO et al., 2009). As raízes são o primeiro órgão da planta responsável por identificar a condição de baixa disponibilidade hídrica do solo e sinalizar o estresse abiótico às células, tecidos e demais órgãos vegetais (TAIZ et al., 2017). A deficiência hídrica ocasiona aumento na síntese de ácido abscísico (ABA) nas raízes, redução da síntese de citocininas e outros hormônios vegetais que são transportados pelo xilema para a parte aérea da planta, alterando o metabolismo fisiológico e químico das plantas, muito antes do que tenha ocorrido redução no conteúdo relativo de água nas folhas (DAVIES et al., 1990).

A produção de matéria seca total em condições controle sem restrição hídrica foi maior na variedade RB855035, ao passo que a menor produção de matéria seca total foi obtida nas variedades CTC4, IACSP95-5000, RB835054, RB855536, RB867515 e RB966928 (Tabela 5). Em condições de deficiência hídrica moderada, a produção de matéria seca total foi maior na variedade RB855035, e menor na variedade RB855536. Em condições de deficiência hídrica severa, a produção de matéria seca total foi maior nas variedades RB855035 e RB966928, e menor nas variedades CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855156, RB855536, RB965902 e SP80-1842 (Tabela 5). O menor acúmulo de matéria seca pelas plantas sob condições de restrição hídrica é consequência dos mecanismos de adaptação das plantas para evitar a perda excessiva de água. Em condições de restrição hídrica ocorre diminuição da área foliar, o que reduz a interceptação de radiação solar e reduz a condutância estomática, e conseqüentemente, tem-se menor assimilação de CO₂ e menor acúmulo de matéria seca (CAVATTE et al., 2011).

A altura da planta, área foliar e a produção de matéria seca da parte aérea e total de todas as variedades de cana-de-açúcar foram menor em condições de deficiência hídrica (Tabelas 3, 4 e 5). As plantas expostas à restrição hídrica severa tiveram, em média, redução de 28% na altura de planta, 35% na área foliar, e redução de 43% e 40% na produção de matéria seca da parte aérea e total, respectivamente, quando comparadas às plantas em condições controle. Estes resultados reportam a resposta das plantas de cana-de-açúcar comumente relatada na literatura quando expostas à deficiência hídrica (SILVA et al., 2008; MACHADO et al., 2009). Um dos primeiros processos que é alterado ou afetado em resposta

à menor disponibilidade de água no solo é a expansão celular, um processo altamente dependente da turgescência das plantas (TAIZ et al., 2017). No entanto, com o avanço da deficiência hídrica, outros processos fisiológicos e bioquímicos da planta são afetados, com efeitos diretos na produção e translocação de fotoassimilados pela planta, redução na taxa de assimilação de carbono e redução da taxa de crescimento relativo (PINHEIRO; CHAVES 2011). Como resultado desses efeitos, há uma redução na altura da planta, na área foliar e no acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes. A redução da área foliar ocorre como uma reação de defesa das plantas à restrição hídrica, reduzindo a taxa de transpiração e, portanto, a amenizando a perda de água para a atmosfera (TAIZ et al., 2017).

A razão parte aérea/raiz em condições controle sem restrição hídrica variou 1,26 a 3,81, e foi maior na variedade RB855453, e menor na variedade RB855536 (Tabela 6). Em condições de deficiência hídrica moderada, a razão parte aérea/raiz variou de 1,54 a 3,85, e foi maior na variedade RB855156, e menor nas variedades de cana-de-açúcar CTC2, IACSP95-5000, RB835054, RB855035, RB855536 e RB867515. Quando as plantas foram expostas à restrição hídrica severa, a razão parte aérea/raiz variou de 1,41 a 2,83, e foi maior na variedade RB855156, e menor para as variedades CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB835054, RB855035, RB855536, RB867515, RB965902 e SP801842 (Tabela 6).

Tabela 6. Efeito dos níveis de deficiência hídrica na razão parte aérea/raiz das 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Variedade	Nível de deficiência hídrica			Média
	Controle (100% CRA)	Moderada (50% CRA)	Severa (25% CRA)	
CTC2	2,60 bB	2,05 aA	2,26 bAB	2,32
CTC4	2,56 cB	2,53 bB	1,76 aA	2,31
IACSP95-5000	1,83 cA	2,03 aA	1,61 aA	1,86
RB825336	1,93 cB	2,39 bB	1,42 aA	1,95
RB835054	2,18 cA	1,93 aA	1,70 aA	1,96
RB855035	2,59 cB	1,62 aA	2,05 aA	2,11
RB855156	1,99 cA	3,85 dC	2,83 cB	2,93
RB855453	3,81 dC	3,19 cB	2,41 bA	3,17
RB855536	1,26 aA	1,54 aA	1,40 aA	1,44
RB867515	1,76 bA	1,94 aA	1,83 aA	1,88
RB965902	1,73 bA	3,35 cB	1,41 aA	2,27
RB966928	2,31 bA	3,09 cB	2,76 cB	2,76
SP801842	2,83 cB	2,63 bB	1,69 aA	2,41
Média	2,30	2,51	1,96	

Média seguida pela mesma letra maiúscula na linha para os níveis de deficiência hídrica, e letra minúscula na coluna para as variedades de cana-de-açúcar não diferem, respectivamente, pelo teste t (LSD) e teste Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de probabilidade.

As condições de deficiência hídrica resultou na menor razão matéria seca: raiz das plantas de cana-de-açúcar, especialmente sob restrição hídrica severa (Tabela 6). Esses resultados indicam que houve maior partição de fotoassimilados da parte aérea das plantas para as raízes das plantas expostas a menor disponibilidade de água no solo. O padrão de alocação de matéria seca entre as diferentes estruturas e órgãos das plantas pode ser alterado ao longo do desenvolvimento da planta, especialmente em condições ambientais adversas. No entanto, este padrão de alocação de matéria seca entre as diferentes partes da planta é essencial para a otimização do desenvolvimento da cultura em condições ambientais adversas, especialmente porque o padrão de alocação de fotoassimilados pode afetar a capacidade competitiva e de adaptação das plantas e as suas respostas aos estresses impostos pelo ambiente (LARCHER, 2006).

De acordo com Lambers et al. (2008), esses padrões de alocação de matéria seca estão diretamente relacionados à otimização da captação dos recursos mais escassos. Por exemplo, em condições de adequado suprimento de água no solo as plantas podem investir mais em folhas de modo a aumentar a captação de energia luminosa e aumentar a taxa fotossintética, e conseqüentemente, aumentar a produção de fotoassimilados, que podem ser translocados para os colmos. Por outro lado, em condições de restrição hídrica, as plantas podem investir mais em raízes de modo a aumentar a captação de água e nutrientes, quando a disponibilidade de água no solo é baixa ou limitada (LAMBERS et al., 2008).

De forma geral, o maior investimento em raízes quando há menor disponibilidade de água no solo ocorre logo na fase inicial do período de escassez de água, depois que houver a sinalização da redução gradual da disponibilidade de água do solo. Nessa fase, a planta precisa de pleno abastecimento de nutrientes e água para manter seu crescimento e diferenciação (LARCHER, 2006).

A identificação de variedades de cana-de-açúcar com maior e/ou menor potencial de crescimento e desenvolvimento em cada um dos ambientes de cultivo com base em apenas uma única característica morfológica pode ser contraditória (Tabelas 3, 4, 5 e 6). Por exemplo, com base na produção de matéria seca da parte aérea, as variedades RB855035 e RB965902 tiveram desempenho superior em condições de deficiência moderada quando comparado às demais variedades de cana-de-açúcar (Tabela 5), ao passo que com base no número de folhas por planta, a variedade CTC2 apresentou desempenho superior às demais variedades em condições de deficiência hídrica moderada, e por fim, com base na área foliar, as variedades IACSP95-5000 e RB855035 apresentaram desempenho superior às demais variedades de cana-de-açúcar (Tabela 4). Portanto, a diferenciação e a separação das variedades

superiores e/ou inferiores em cada ambiente de cultivo deve ser realizada levando-se em consideração todas as características morfológicas das plantas por meio de métodos de análise multivariada.

Utilizando-se 50% de similaridade como critério para definição dos grupos, pelo método de agrupamento hierárquico da ligação de Ward, com base na distância euclidiana média padronizada (D), as 13 variedades de cana-de-açúcar cultivadas em condições de adequada disponibilidade de água (controle) foram separadas em três grupos, com desempenho similar dentro do grupo e divergente entre grupos (Figura 1A).

O grupo 1 composto pelas variedades CTC2, CTC4, RB825336, RB855035 e SP80-1842 representou os genótipos de cana-de-açúcar com os maiores valores para a maioria das características morfológicas avaliadas e, portanto, foi considerado o grupo de desempenho superior em condições de adequada disponibilidade hídrica do solo. O grupo 2 composto pelas variedades de cana-de-açúcar RB855453 e RB966928 representou os genótipos com os menores valores das características morfológicas avaliadas e, portanto, foi considerado o grupo com desempenho inferior em condições controle. O grupo 3 composto pelas demais variedades de cana-de-açúcar representa as variedades com valores intermediários das características morfológicas das plantas, por isso, foram classificadas com desempenho médio em condições de cultivo com adequada disponibilidade de água (Figura 1A).

Com base nestes critérios de classificação, em condições de deficiência hídrica moderada, as variedades CTC2 e RB855035 possuem desempenho superior quando comparado às demais variedades de cana-de-açúcar, ao passo que as variedades CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855536 e SP80-1842 possuem desempenho inferior (Figura 1B). Em condições de deficiência hídrica severa, as variedades CTC2, RB855035, RB867515 e RB966928 possuem desempenho superior às demais variedades de cana-de-açúcar, ao passo que as variedades com desempenho inferior em condições de restrição hídrica severa são CTC4, RB825336, RB855156 e SP80-1842 (Figura 1C).

As variedades de cana-de-açúcar com menor dissimilaridade em condições controle sem restrição hídrica foram: CTC2 × SP80-1842, RB855156 × RB867515 e IACSP95-5000 × RB835054 (Figura 1A). Em condições de deficiência hídrica moderada, as variedades com menor dissimilaridade foram: CTC4 × IACSP95-5000 e RB855156 × RB855453 (Figura 1B). Em condições de deficiência hídrica severa, as variedades com menor dissimilaridade foram: CTC2 × RB855035, IACSP95-5000 × RB855536 e CTC4 × SP80-1842 (Figura 1C). A maior similaridade entre essas variedades de cana-de-açúcar indica que o cruzamento genético entre estes genótipos não deve ser utilizado, pois a ganho genético será pequeno ou nulo.

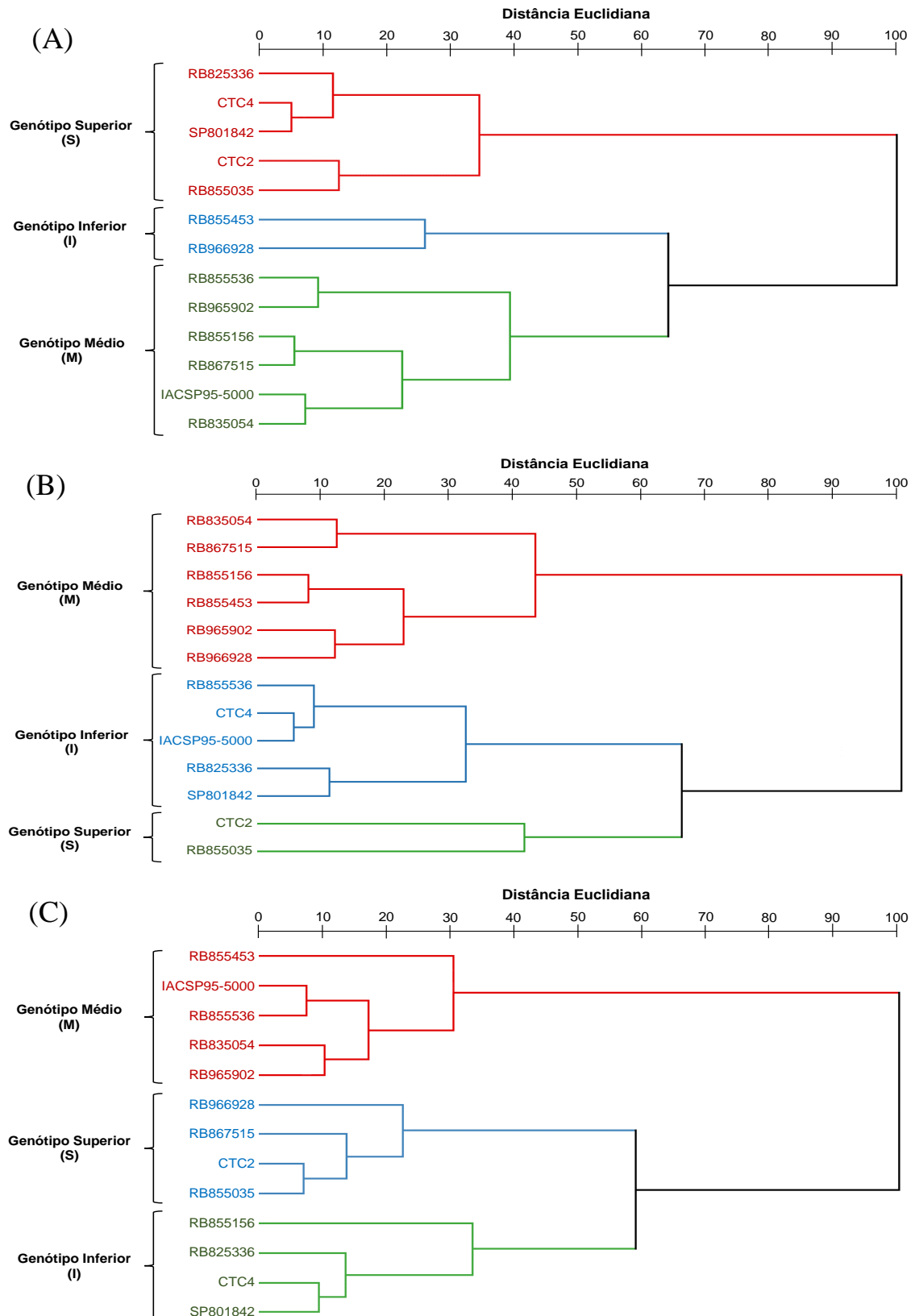


Figura 1. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico das 13 variedades de cana-de-açúcar com base na distância Euclidiana média padronizada e no método de variância mínima de Ward utilizando todas as 10 características morfológicas das plantas em condições controle (A), e sob deficiência hídrica moderada (B) e severa (C).

As variedades de cana-de-açúcar CTC2 e RB855035 possuem desempenho superior tanto quando cultivadas em condições de adequada disponibilidade de água como em condições de restrição hídrica indicando que estes genótipos possuem alta adaptabilidade aos distintos ambientes de produção.

1.4. CONCLUSÕES

As características morfológicas da cana-de-açúcar foram eficazes para diferenciar genótipos superiores e, ou inferiores para o cultivo em condições de deficiência hídrica.

Sob deficiência hídrica moderada, as variedades com maior potencial de desenvolvimento foram CTC2 e RB855035, e sob deficiência hídrica severa foram CTC2, RB855035, RB867515 e RB966928 sendo então as mais indicadas para condições onde ocorre algum nível de restrição hídrica.

As variedades de cana-de-açúcar CTC4, RB825336 e SP80-1842 possuem menor potencial de desenvolvimento em condições de deficiência hídrica moderada e severa, e não devem ser recomendadas para o cultivo em região com ocorrência restrição hídrica.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASSO, S. M. S. **Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC. E *Lotus* L.** 1999. 268 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BATISTA, E. L. S.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; LYRA, G. B.; SILVA, T. G. F.; BOEHRINGER, D. Avaliação do efeito do estresse hídrico no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar usando um sistema automático de fertirrigação. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 35, n. 2, p. 215-229, 2015.

BENINCASA, M. P. M. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas.** FUNEP, Jaboticabal, 2003. p. 42.

CARGNELUTTI-FILHO, A.; RIBEIRO, N. D.; REIS, R. C. P.; SOUZA, J. R.; JOST, E. Comparison of cluster methods for the study of genetic diversity in common bean cultivars. **Revista Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2138-2145, 2008.

CASAROLI, D.; LIER, Q. J.; Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 59-66, 2008.

CAVATTE, P. C.; MARTINS, S. C. V.; MORAIS, L. E.; SILVA, P. E. M.; SOUZA, L. T. A fisiologia dos estresses abióticos. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Suprema, Visconde do Rio Branco, p. 39-79, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, Safra 2019/2020**. v. 6, n. 3, 58p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: mar. 2020.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. 585p.

DAVIES, W. J.; MANSFIELD, T. A.; HETERING, A. M. Sensing of soil water status and the regulation of plant growth and development. **Plant, Cell & Environment**, v. 13, p. 709-719, 1990.

ENDRES L.; SILVA J. V.; FERREIRA V. M.; BARBOSA G. V. S. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v. 4. p. 31-37, 2010.

FERREIRA, T.H.S.; TSUNADA, M. S.; BASSI, D.; ARAÚJO, P.; MATTIELLO, L.; GUIDELLI, G. V.; RIGHETTO, G. L.; GONÇALVES, V. R.; LAKSHMANAN, P.; MENOSSI, M. Sugarcane water stress tolerance mechanisms and its implications on developing biotechnology solutions. **Frontiers in Plant Science** v. 8, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; BOTA, J.; GALMES, J.; HENKLE, M.; MARTINEZ-CANELLAS, S. & MEDRANO, H. Decreased rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytologist**, v. 172, n. 1, p. 73-82, 2006.

GÍRIO, L. A. S.; DIAS, F. L. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; SCHULTZ, N.; BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 33-43, 2015.

HOLANDA, L. A.; SANTOS, C. M.; SAMPAIO NETO, G. D.; SOUSA, A. P.; SILVA, M. A. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 573-584, 2014.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 59, n. 1, p. 231-240, 2008.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M.; Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, p. 185-202, 2005.

KHONGHINTAISONG, J.; SONGSRI, P.; TOOMSAN, B.; JONGRUNGKLANG, N. Rooting and physiological trait responses to early drought stress of sugarcane cultivars. **Sugar Tech**, v. 20, p. 396-406, 2018.

LAKSHMANAN P.; GEJSKES, R. J.; AITKEN, K. S.; GROF C. L.; BONNETT, G. D.; SMITH, G. R. Sugarcane biotechnology: the challenges and opportunities. **In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant**, v. 41, p. 345-363, 2005.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.; PONS, T. L. **Plant physiological ecology**. Springer, New York. 2008.

LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, v. 1, p. 18-23, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Editora Rima, São Carlos. 2006.

MACÊDO, G. A. R.; COSTA, E. L.; VIANA, M. C. M.; FERREIRA, J. J.; PIRES, J. F.; FREIRE, F. M. Características agronômicas e químicas das variedades de cana-de-açúcar RB83-5486 e RB86-7515 sob irrigação e sequeiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 599-603, 2012.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V. MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MAIA-JÚNIOR, S. O.; SILVA, J. A. C.; SANTOS, K. P. O.; CORDEIRO, D. R.; SILVA, J. V.; ENDRES, L. Respostas morfológicas e fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar sob estresse hídrico no segundo ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 3, p. 2661-2672, 2018.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

NAGHAVI, M. R.; POUR-ABOUGHADAREH, A.; KHALILI, M. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 5, n. 3, p. 388-393, 2013.

NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância a seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biociência, Ciência & Desenvolvimento**, n. 23, p. 12-18, 2001.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D. & LOURENÇO, S., eds. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p. 189-254.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010.

PATANÈ, C.; SAITA, A.; SORTINO, O. Comparative effects of salt and water stress on seed germination and early embryo growth in two cultivars of sweet sorghum. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, p. 30-37, 2013.

PINCELLI, R. P.; SILVA, M. A. Alterações morfológicas foliares em cultivares de cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 546-556, 2012.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011.

RODOLFO JÚNIOR, F.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; BATISTA, F. P. S.; LIMA, C. A.; ROCHA, O. C. Biometric responses of third ratoon sugarcane varieties under variable water regime. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 1, p. 81-92, 2018.

SANTOS, F.; BORÉM, A. (Ed.). **Cana-de-açúcar: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SILVA, M. A.; SOARES, R. A. B.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 655-661, 2008.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; DA SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SANTOS, C. M.; JADOSKI, C. J.; SILVA, J. A. G. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water

deficit during early growth phase. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 56, n. 5, p. 735-748, 2013.

SILVÉRIO, J. M.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; IAIA, A. M. DUARTE, T. F.; PIRES, C. M. Drought tolerance of the sugar cane varieties during the initial development. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 6, p. 711-715, 2017.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, p. 91-97, 2006.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto alegre: Artmed, 2017. 888p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017. 573p.

VIEIRA, E.A.; SILVA, M.G.; MORO, C.F.; LAURA, V.A. Physiological and biochemical changes attenuate the effects of drought on the Cerrado species *Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke. **Plant Physiol Biochem**, v. 115, p. 472-483, 2017.

ZHAO, D.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J. C. Sugarcane response to water-deficit stress during early growth on organic and sand soils. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 5, p. 403-414, 2010.

CAPÍTULO 2. ÍNDICES DE SELEÇÃO PARA IDENTIFICAR VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR TOLERANTES À SECA

RESUMO: A deficiência hídrica é um dos principais fatores ambientais que frequentemente causam impactos negativos nas lavouras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região Centro-Oeste do Brasil. Dois experimentos sob condições de casa de vegetação foram conduzidos com a finalidade de avaliar a tolerância à seca de 13 variedades de cana-de-açúcar (CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB835054, RB855035, RB855156, RB855453, RB855536, RB867515, RB965902, RB966928 e SP80-1842) quando cultivadas em condições de restrição hídrica moderada (Experimento 1) e severa (Experimento 2), e determinar os melhores índices de seleção para identificar os genótipos tolerantes e, ou suscetíveis à seca. A imposição da restrição hídrica foi realizada por um período de 35 dias, entre os 65 e 100 dias após o transplante das mudas, e os níveis de deficiência hídrica moderada e severa foram representados pela reposição da água de irrigação de até 50% e 25% da capacidade de retenção de água do solo, respectivamente. Doze índices de tolerância, incluindo tolerância (TOL), produtividade média (MP), índice de estabilidade do rendimento (YSI), índice de resistência à seca (DI), índice de tolerância ao estresse (STI), produtividade média geométrica (GMP), índice de rendimento (YI), índice de tolerância de estresse modificado (k_1 STI e k_2 STI), percentual de suscetibilidade ao estresse (SSPI), índice de tolerância abiótica (ATI) e média harmônica (HM) foram calculados a partir dos dados de produção de matéria seca da parte aérea das plantas em condições de adequada disponibilidade de água (Y_P) e sob condições de restrição hídrica moderada ou severa (Y_S). A identificação das variedades tolerantes e/ou suscetíveis à restrição hídrica foi realizada utilizando-se diferentes métodos de análises multivariadas (método do ranqueamento, análise de agrupamentos hierárquico e análise de componentes principais). As variedades de cana-de-açúcar RB855035, RB855453 e RB 965902 possuem maior tolerância à seca, sendo mais indicadas para serem cultivadas em regiões do Cerrado com ocorrência de restrição hídrica. As variedades de cana-de-açúcar RB855536 e IACSP95-5000 possuem maior suscetibilidade à restrição hídrica moderada e severa, e não devem ser recomendadas para o cultivo em condições de sequeiro em regiões com alta probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica. Os índices de tolerância MP, DI, STI, GMP, YI, k_1 STI, k_2 STI e HM foram os mais indicados para identificar as variedades de cana-de-açúcar com maior tolerância à seca e com alto potencial de produção de matéria seca da parte aérea em condições de restrição hídrica moderada e severa.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; Análise multivariada; Análise biplot; Correlação; Deficiência hídrica.

SELECTION INDICES TO IDENTIFY DROUGHT-TOLERANT SUGARCANE GENOTYPES

ABSTRACT: Water deficiency is one of the main environmental factors that often have negative impacts on sugarcane (*Saccharum* spp.) crops in the Midwest region of Brazil. Two experiments under greenhouse conditions were conducted in order to evaluate the drought tolerance of 13 varieties of sugarcane (CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB835054, RB855035, RB855156, RB855453, RB855536, RB867515, RB965902, RB966928 and SP80-1842) when cultivated under conditions of moderate (Experiment 1) and severe (Experiment 2) water restriction, and to determine the best selection indexes to identify the genotypes tolerant and, or susceptible to drought. The water restriction was imposed for a period of 35 days, between 65 and 100 days after transplanting the seedlings, and the levels of moderate and severe water deficiency were represented by the replacement of irrigation water of up to 50% and 25% the soil's water retention capacity, respectively. Twelve tolerance indices, including tolerance (TOL), mean productivity (MP), yield stability index (YSI), drought resistance index (DI), stress tolerance index (STI), geometric mean productivity (GMP), yield index (YI), modified stress tolerance index (k_1 STI and k_2 STI), stress susceptibility percentage index (SSPI), abiotic tolerance index (ATI) and harmonic mean (HM) were calculated from production data of dry matter of the aerial part of the plants under conditions of adequate water availability (Y_P) and under conditions of moderate or severe water restriction (Y_S). The identification of sugarcane varieties tolerant and/or susceptible to water restriction was carried out using different multivariate analysis methods (ranking method, hierarchical cluster analysis and principal component analysis). The sugarcane varieties RB855035, RB855453 and RB 965902 have greater drought tolerance, and are the most suitable varieties to be cultivated in Cerrado regions with occurrence of water restriction. The varieties RB855536 and IACSP95-5000 have greater susceptibility to moderate and severe water restriction, and should not be recommended for growing under rainfed conditions in regions with a high probability of water deficiency. The tolerance indices MP, DI, STI, GMP, YI, k_1 STI, k_2 STI and HM were the most suitable to identify the sugarcane varieties with greater drought tolerance and with high potential for shoot dry matter production under conditions of moderate and severe water restriction.

Keywords: *Saccharum* spp.; Multivariate analysis; Biplot analysis; Correlation; Water deficit.

2.1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das culturas de maior importância para a economia brasileira, especialmente devido a sua utilização na produção de biocombustíveis e de seus derivados, além da produção de bioenergia por meio da combustão de sua biomassa. No entanto, apesar do cenário favorável para o cultivo de cana-de-açúcar no Brasil, especialmente para a região Centro-Oeste do país, a ocorrência de adversidades climáticas ainda é um fator de risco e de insucesso para a exploração comercial da cultura.

Dentre estas adversidades, a ocorrência da deficiência hídrica tem sido apontada como o principal fator que limita o crescimento das plantas e a produtividade de colmos da cultura de cana-de-açúcar (SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2008; PINCELLI; SILVA, 2012). Com a expansão da área de plantio o Cerrado, uma região que possui uma estação seca bem definida marcada por longo período de estiagem entre os meses de abril e setembro, torna-se essencial a obtenção e, ou identificação de genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca.

Em condições de deficiência hídrica, as plantas apresentam uma série de alterações bioquímicas, fisiológicas e morfológicas (SILVA et al., 2008; PINCELLI; SILVA, 2012; VIEIRA et al., 2014), as quais constituem as estratégias e, ou mecanismos de tolerância das plantas à seca. As principais estratégias para tolerância à seca em variedades de cana-de-açúcar estão relacionadas à eficiência do uso da água pelas plantas, à capacidade das células realizar o ajuste osmótico, à manutenção do conteúdo de clorofila, da condutância estomática e da taxa de fotossíntese, à redução na área foliar e à capacidade das raízes em explorar camadas mais profundas do solo (PINCELLI; SILVA, 2012; FERREIRA et al., 2017). Estes mecanismos de tolerância visam manter o crescimento e o desenvolvimento das plantas em condições de restrição hídrica. No entanto, muitos fatores podem alterar as respostas das plantas à deficiência hídrica, tais como genótipo, estágio de desenvolvimento da planta, da severidade e da duração da restrição hídrica (PINCELLI; SILVA, 2012; VIEIRA et al., 2014), dentre outros fatores ambientais.

O desempenho relativo da produção de colmos em condições ambientais ótimas com adequada disponibilidade de água ou em ambientes com restrição hídrica parece ser o ponto de partida para a identificação de genótipos desejáveis para o cultivo em condições de restrição hídrica (MOHAMMADI et al., 2010). Portanto, as principais condições que devem

ser consideradas durante o processo de seleção e identificação de variedades tolerantes e, ou suscetíveis à seca são o cultivo sob condições ótimas não estressantes e sob condições estressantes com ocorrência de restrição hídrica (MENEZES et al., 2014; CABRAL et al., 2020). No entanto, a identificação de genótipos tolerantes à seca não é uma tarefa fácil devido ao fato de ocorrer fortes interações entre o genótipo e ambiente (NAGHAVI et al., 2013).

Diversos estudos têm proposto a utilização de diferentes métodos e, ou índices de seleção para avaliar e identificar as diferenças genéticas para a tolerância à seca. Alguns destes índices de seleção foram utilizados para avaliar as diferenças genéticas em genótipos de milho (NAGHAVI et al., 2013), sorgo (MENEZES et al., 2014), trigo (AKÇURA et al., 2011; FARSHADFAR et al., 2013; EL-RAWY; HASSAN, 2014), girassol (GHOLINEZHAD et al., 2014), feijão (SÁNCHEZ-REINOSO et al., 2020) e soja (CABRAL et al., 2020). No entanto, estes estudos para a cultura da cana-de-açúcar ainda são incipientes.

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o nível de tolerância à seca de 13 variedades de cana-de-açúcar quando cultivadas em condições de restrição hídrica moderada e severa, e determinar os melhores índices de seleção para identificar os genótipos tolerantes e, ou suscetíveis à seca.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização e caracterização do experimento

Dois experimentos foram conduzidos sob condições de casa de vegetação na Estação Experimental Agronômica na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, em Cassilândia, MS (19°05'30" S; 51°48'50" W e altitude média de 540 m) para avaliar os efeitos da restrição hídrica moderada (Experimento 1) e da restrição hídrica severa (Experimento 2) na produção de matéria seca da parte aérea das plantas de 13 variedades de cana-de-açúcar. A temperatura média do ar e a umidade realtiva do ar no interior da casa de vegetação durante a condução do experimento foram mantidas em 26 °C (± 2 °C) e 68% ($\pm 6\%$), respectivamente.

Os experimentos foram conduzidos em vasos plásticos com 12 dm³ de capacidade, preenchidos com 11 dm³ de solo arenoso peneirado em malha de 5,0 mm, proveniente da camada de 0,0–0,20 m de um Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico – NQo (SANTOS et al., 2018). As principais características químicas do solo foram as seguintes: pH (CaCl₂) = 4,6, matéria orgânica = 14 g dm⁻³, P (Mehlich⁻¹) = 7,8 mg dm⁻³, K⁺ = 0,16 cmol_c dm⁻³, Ca²⁺ = 1,50 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺ = 0,50 cmol_c dm⁻³, H⁺ + Al³⁺ = 3,60 cmol_c dm⁻³, Al³⁺ = 0,25 cmol_c dm⁻³, CTC = 5,80 cmol_c dm⁻³ e 38% de saturação por bases. Todas as análises químicas

foram efetuadas seguindo indicações de Teixeira et al. (2017). A capacidade de retenção de água do solo sob condições de drenagem livre foi mensurada usando a taxa de decréscimo do teor de água de $0,1 \text{ g kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ como sugerido por Casaroli e Lier (2008), e o valor da capacidade máxima do solo em reter água foi de 210 g kg^{-1} .

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação de $1,10 \text{ g}$ de calcário por dm^3 de solo (CaO: 38%; MgO: 11%; PRNT: 85%; e, PN: 62%), visando elevar a saturação por base do solo a 70% (SOUSA; LOBATO, 2004). Após a aplicação do calcário, o solo foi homogeneizado, umedecido até alcançar 80% da capacidade de retenção de água, e incubado por 30 dias.

Decorrido esse período, o solo foi fertilizado com 50 mg dm^{-3} de N (ureia), 250 mg dm^{-3} de P (superfosfato simples), 100 mg dm^{-3} de K (cloreto de potássio), 15 mg dm^{-3} de S (gesso agrícola), 2 mg dm^{-3} de Cu (sulfato de cobre), 2 mg dm^{-3} de Zn (sulfato de zinco), 1 mg dm^{-3} de Mo (molibdato de amônio) e 1 mg dm^{-3} de B (ácido bórico), seguindo as recomendações de Novais et al. (1991) para ensaios em vasos sob condições de casa de vegetação. Aos 30 e 60 dias após o transplântio das mudas de cana-de-açúcar também foram aplicados 50 mg dm^{-3} de N em cobertura na forma de ureia (45% de N).

2.2.2 Delineamento experimental e Tratamentos

Os dois experimentos foram dispostos no delineamento de blocos casualizados (DBC), com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de 13 variedades de cana-de-açúcar (CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB835054, RB855035, RB855156, RB855453, RB855536, RB867515, RB965902, RB966928 e SP80-1842) cultivadas sob condições de restrição hídrica moderada (Experimento 1) e severa (Experimento 2). Os níveis de restrição hídrica moderada e severa foram estabelecidos pela reposição da água de irrigação até 50% e 25% da capacidade de retenção de água do solo, respectivamente. Como tratamento controle, plantas de cana-de-açúcar também foram cultivadas com reposição da água de irrigação de 100% da capacidade de retenção de água do solo. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso perfazendo um total de 78 vasos por experimento.

2.2.3 Implantação, condução e avaliação do experimento

O transplântio das mudas pré-brotadas (MPB) das variedades de cana-de-açúcar para os vasos plásticos foi realizado aos 18 dias após a brotação. Os minirrebolos (segmentos de colmos com gemas individualizadas) de $3,0 \text{ cm}$ de comprimento utilizados para a produção das mudas pré-brotadas foram extraídos de colmos-sementes provenientes de um viveiro de

multiplicação de 10 meses de idade das treze variedades de cana-de-açúcar, localizado na Estação Experimental Agronômica, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, em Cassilândia (MS). As mudas pré-brotadas foram produzidas em caixas plásticas (42 × 28 × 6 cm), preenchidas com substrato comercial (BioPlant®). As principais características das variedades de cana-de-açúcar são mostradas na Tabela 7.

Tabela 7. Principais características agronômicas das 13 variedades de cana-de-açúcar utilizadas no estudo.

Variedade	Exigência em ambientes	Velocidade de crescimento	Potencial de perfilhamento	Porte
CTC2	Média-Alta restrição	Rápido	Alto	Alto
CTC4	Alta-Média restrição	Regular	Médio	Alto
IACSP95-5000	Alta restrição	Regular	Médio	Médio
RB825336	Baixa restrição	Regular	Alto	Médio
RB835054	Média-Alta restrição	Lento	Médio	Médio
RB855035	Baixa-Média restrição	Regular	Médio	Médio
RB855156	Baixa-Média restrição	Rápida	Médio	Médio
RB855453	Alta restrição	Regular	Médio	Médio
RB855536	Alta restrição	Regular	Médio	Médio
RB867515	Média restrição	Rápido	Médio	Alto
RB965902	Média restrição	Rápido	Alto	Alto
RB966928	Média restrição	Rápido	Alto	Médio
SP80-1842	Alta restrição	Lento	Médio	Médio

Após o transplântio as plantas foram mantidas em condições controladas de casa de vegetação por um período total de 100 dias. Durante os primeiros 65 dias, todos os tratamentos foram diariamente irrigados para manter o conteúdo de água próximo a 100% da capacidade de retenção de água do solo. Posteriormente, a imposição da restrição hídrica (50% e 25% da capacidade de retenção de água do solo) foi realizada por um período de 35 dias. O conteúdo de água no solo foi monitorado diariamente nos períodos da manhã e da tarde (9:00 e 15:00 horas) com o sensor Three-way Meter, instalado no centro dos vasos de cada tratamento, na profundidade de 12 cm.

Após os 35 dias de exposição as condições de restrição hídrica, a parte aérea das plantas de cana-de-açúcar foi cortada rente ao nível do solo, e o material vegetal (colmos e folhas) foi colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar à 65 °C, por 5 dias, e então pesado em balança semianalítica, para a determinação da produção de matéria seca da parte aérea (MSPA).

2.2.4 Cálculo dos índices de tolerância à seca

Neste estudo, 12 índices de tolerância à seca propostos por diversos pesquisadores foram utilizados para avaliar a resposta de produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das 13 variedades de cana-de-açúcar cultivadas em condições de adequada disponibilidade de água (controle) e em condições de restrição hídrica moderada e severa. Os dados da produção de MSPA, registrados para cada variedade em cada condição de disponibilidade hídrica, foram utilizados para calcular os índices de tolerância à seca. Os 12 índices de tolerância à seca utilizados neste estudo são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8. Índices de tolerância à seca para avaliar a resposta da produção de matéria seca da parte aérea das 13 variedades de cana-de-açúcar cultivadas em condições de deficiência hídrica moderada e severa. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Índice de tolerância à seca	Abreviação e Equação [†]	Referência
1. Índice de tolerância	$TOL = Y_P - Y_S$	Rosielle & Hamblin (1981)
2. Produtividade média	$MP = (Y_S + Y_P)/2$	Rosielle & Hamblin (1981)
3. Índice de estabilidade de rendimento	$YSI = Y_S/Y_P$	Bousslama & Schapaugh (1984)
4. Índice de resistência à seca	$DI = [Y_S \times (Y_S/Y_P)] / \bar{Y}_S$	Blum (1988)
5. Índice de tolerância de estresse	$STI = (Y_S \times Y_P)/(\bar{Y}_P)^2$	Fernández (1992)
6. Produtividade média geométrica	$GMP = \sqrt{Y_S \times Y_P}$	Fernández (1992)
7. Índice de rendimento	$YI = Y_S/\bar{Y}_S$	Gavuzzi et al. (1997)
8. Tolerância de estresse modificado (k_1)	$k_1STI = Y_P^2 / \bar{Y}_P^2$	Farshadfar & Sutka (2002)
9. Tolerância de estresse modificado (k_2)	$k_2STI = Y_S^2 / \bar{Y}_S^2$	Farshadfar & Sutka (2002)
10. Percentual de suscetibilidade ao estresse	$SSPI = [Y_P - Y_S/2 \times \bar{Y}_P] \times 100$	Moosavi et al. (2008)
11. Índice de tolerância abiótica	$ATI = [(Y_P - Y_S)/(\bar{Y}_P/\bar{Y}_S)] \times \sqrt{\bar{Y}_P \times \bar{Y}_S}$	Moosavi et al. (2008)
12. Média harmônica	$HM = [2 \times (Y_S \times Y_P)]/(Y_S + Y_P)$	Jafari et al. (2009)

[†] Nas equações acima, Y_S , Y_P , representam a produção de matéria seca da parte aérea das plantas expostas às condições de restrição hídrica (moderada ou severa) e sob adequada disponibilidade de água (controle) para cada variedade de cana-de-açúcar, respectivamente, enquanto \bar{Y}_S e \bar{Y}_P representam a produção de matéria seca da parte aérea de todas as variedades expostas às condições de restrição hídrica (moderada ou severa) e sob adequada disponibilidade de água (controle), respectivamente.

2.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância univariada, e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade, com o objetivo de discriminar as variedades de cana-de-açúcar dentro dos ambientes de restrição hídrica (moderada e severa) e entre os ambientes pelos índices de tolerância à seca. As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar[®] versão 5.6 para Windows (FERREIRA, 2014).

Análise de correlação linear de Pearson foram realizadas entre os diferentes índices de tolerância à seca e a produção de MSPA das plantas de cana-de-açúcar nas distintas condições de restrição hídrica. A identificação das variedades tolerantes e, ou suscetíveis à restrição hídrica foi realizada com base em todos os índices de tolerância à seca, por meio dos três métodos de análise multivariada (método do ranqueamento, método de agrupamentos hierárquico e análise de componentes principais).

O método do ranqueamento foi utilizado como proposto por Farshadfar et al. (2012), com modificações. Neste método, uma variedade com o maior valor para cada um dos índices de tolerância YP, YS, MP, YSI, DI, STI, GMP, YI, k_1 STI, k_2 STI, SSPI, ATI e HM recebeu uma pontuação de classificação igual a 1, ao passo que para a variedade com o menor valor para o índice de tolerância TOL foi atribuído uma pontuação de classificação igual a 1. Foram calculados a pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) e o desvio padrão dos ranqueamentos (DP_R) para todos os índices de tolerância à seca das 13 variedades de cana-de-açúcar em condições de restrição hídrica moderada e severa.

A discriminação das variedades quanto ao nível de tolerância à seca foi realizada com base na pontuação média do ranqueamento de cada genótipo, considerando-se o valor do quartil que divide as 13 posições possíveis do ranqueamento em quatro partes iguais. Portanto, uma variedade com pontuação média do ranqueamento abaixo do valor do primeiro quartil (<4,0 pontos) é classificada como tolerante (T) à seca; uma variedade com pontuação média entre o valor do primeiro e segundo quartil (4,1 a 7,0 pontos) é classificada como moderadamente tolerante (MT) à seca; uma variedade com pontuação média do ranqueamento entre o valor do segundo e terceiro quartil (7,1 a 10,0 pontos) é classificada como moderadamente suscetível (MS) à seca; e, por sua vez, o grupo de cultivares suscetíveis (S) à seca é representado pelas variedades com pontuação média do ranqueamento acima do valor do terceiro quartil (>10,0 pontos).

A análise multivariada pelo método de agrupamento hierárquico foi realizada com base na distância Euclidiana média padronizada (D) e no método de variância mínima de Ward, para classificar as 13 variedades de cana-de-açúcar em níveis de tolerância à seca (variedade tolerante, moderadamente tolerante, moderadamente suscetível e variedade suscetível) quando cultivados sob condições de restrição hídrica moderada ou severa. Análise de componentes principais (ACP) com base na matriz de correlação dos índices de tolerância à seca e análise Biplot foram realizadas utilizando-se o software estatístico Action Stat Pro® versão 3.6 para Windows (Estatcamp – Consultoria Estatística e Qualidade, Campinas, SP).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Produção de matéria seca da parte aérea e Índices de tolerância à seca

A produção de MSPA das plantas em condições controle sem restrição hídrica variou de 129 a 247 g/planta, e separou as variedades de cana-de-açúcar em quatro grupos (Tabela 9). A produção de MSPA foi maior nas variedades RB855035, RB855453 e SP80-1842, enquanto a menor produção de matéria seca foi obtida nas variedades IACSP95-5000, RB855536 e RB867515 (Tabela 9).

Em condições de restrição hídrica moderada, a produção de MSPA variou de 89 a 196 g/planta, permitindo a separação das variedades em quatro grupos, sendo a maior produção de MSPA observadas nas variedades RB855035 e RB965902, ao passo que a menor produção foi obtida na variedade RB855536 (Tabela 9).

Em condições de restrição hídrica severa, a produção de MSPA das plantas variou de 77 a 148 g/planta, e permitiu a separação das variedades de cana-de-açúcar em quatro grupos, na qual a variedade RB966928 compôs o grupo de maior produção de MSPA, e as variedades CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855536, RB965902 e SP80-1842 representaram o grupo com menor potencial de produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 9).

A produção média de MSPA das plantas sob condições controle foi de 183 g/planta, e em condições de restrição hídrica moderada e severa foi de 153 e 104 g/planta, o que representou redução de 16% e 43% na capacidade de produção de matéria seca da parte aéreas das plantas de cana-de-açúcar, respectivamente (Tabela 9).

O índice de tolerância (TOL) permitiu separar as variedades em quatro grupos, sendo que o grupo com o melhor índice de tolerância em condições de restrição hídrica moderada foi representado pelas variedades IACSP95-5000, RB835054, RB855156, RB867515, RB965902 e RB966928, e a variedade SP80-1842 foi classificado no grupo com o pior índice TOL.

Em condições de restrição hídrica severa, as variedades RB855536, RB867515 e RB966928 foram agrupadas no grupo com melhor índice TOL, enquanto a variedade SP80-1842 foi agrupada no grupo com o pior índice TOL (Tabela 9).

Dadbakhsh et al. (2011) ao avaliar 19 genótipos de trigo sob estresse hídrico identificaram apenas dois genótipos com maior índice TOL constatando que altos valores desse índice indica alta suscetibilidade das plantas ao estresse.

O maior índice de produtividade média (MP) sob condições de restrição hídrica moderada foi obtido para as variedades RB855035, RB855453 e RB965902, ao passo que o grupo de o menor índice MP foi representado pela variedade RB855536. Em condições de

restrição hídrica severa, o maior índice MP foi observado para as variedades RB855035 e RB855453, ao passo que as variedades CTC4, IACSP95-5000 e RB855536 foram agrupadas no grupo com o menor índice MP (Tabela 9).

Tabela 9. Produção de matéria seca da parte aérea e índices de tolerância à seca para 13 variedades de cana-de-açúcar cultivadas em condições de adequada disponibilidade de água e sob condições de restrição hídrica moderada e severa. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Variedade	Y _P (g)	Y _S (g)	TOL	MP	YSI	DI	STI	GMP	YI	k ₁ STI	k ₂ STI	SSPI	ATI	HM
Deficiência hídrica moderada														
CTC2	199b	148c	50,3c	174b	0,75b	0,73c	0,88b	172b	0,97c	1,18b	0,95c	13,7b	7268b	170b
CTC4	174c	136c	37,3b	155c	0,79b	0,70c	0,71c	154c	0,89c	0,90c	0,80c	10,2c	4805c	153c
IACSP95-5000	145d	129c	15,2a	137c	0,90a	0,76c	0,56c	137c	0,85c	0,63d	0,72c	4,2d	1782d	136c
RB825336	169c	138c	31,2b	154c	0,82b	0,74c	0,70c	153c	0,90c	0,86c	0,82c	8,5c	4056c	152c
RB835054	169c	160b	9,3a	164c	0,95a	0,99b	0,80b	164b	1,05b	0,85c	1,09b	2,5d	1281d	164b
RB855035	247a	190a	56,1c	219a	0,78b	0,97b	1,40a	217a	1,25a	1,82a	1,56a	15,3b	10231b	215a
RB855156	181c	174b	4,5a	179b	0,98a	1,13b	0,95b	179b	1,15b	0,97c	1,33b	1,2d	673d	178b
RB855453	227a	176b	52,4c	201a	0,77b	0,88b	1,18a	199a	1,14b	1,54a	1,31b	14,3b	8678b	197a
RB855536	129d	89d	40,4b	109d	0,69c	0,40d	0,34d	107d	0,58d	0,50d	0,34d	11,0c	3626c	105d
RB867515	149d	145c	4,0a	147c	0,97a	0,93b	0,64c	147c	0,95c	0,66d	0,91c	1,1d	471d	147c
RB965902	200b	196a	3,6a	198a	0,98a	1,26a	1,17a	198a	1,28a	1,20b	1,66a	1,0d	617d	198a
RB966928	168c	166b	2,5a	167c	0,98a	1,07b	0,83b	167b	1,09b	0,85c	1,18b	0,7d	332d	167b
SP80-1842	228a	137c	91,3d	182b	0,60d	0,54d	0,93b	176b	0,90c	1,55a	0,81c	24,9a	13384a	171b
Média	183	153	30,6	168	0,84	0,85	0,85	167	1,00	1,04	1,04	8,35	4403	166
CV (%)	7,91	7,11	32,31	7,04	4,74	8,90	15,47	7,04	7,11	17,49	15,25	32,31	38,71	7,07
Deficiência hídrica severa														
CTC2	199b	122b	76,7b	160c	0,62b	0,73c	0,72b	155b	1,17b	1,18b	1,38b	20,9c	6779b	150b
CTC4	174c	86d	87,8c	130d	0,49c	0,41d	0,45d	122d	0,83d	0,90c	0,69d	23,9b	6087b	115d
IACSP95-5000	145d	86d	58,4b	115e	0,60b	0,50c	0,37d	111e	0,83d	0,63d	0,69d	15,9c	3719c	108d
RB825336	169c	83d	86,5c	126d	0,50c	0,40d	0,42d	118d	0,80d	0,86c	0,64d	23,6b	5818b	111d
RB835054	169c	105c	63,8b	137d	0,62b	0,63c	0,53c	133c	1,01c	0,85c	1,02c	17,4c	4823b	130c
RB855035	247a	128b	119,1c	187a	0,52c	0,64c	0,93a	177a	1,23b	1,82a	1,51b	32,5b	11987a	168a
RB855156	181c	107c	73,6b	144c	0,60b	0,61c	0,58c	139c	1,03c	0,97c	1,07c	20,1c	5792b	134c
RB855453	227a	117b	110,0c	172b	0,52c	0,58c	0,79b	163b	1,12b	1,54a	1,27b	30,0b	10188a	154b
RB855536	129d	86d	43,4a	107e	0,67b	0,55c	0,33d	105e	0,82d	0,50d	0,68d	11,8d	2614c	103d
RB867515	149d	115b	33,9a	132d	0,78a	0,86b	0,51c	131c	1,11b	0,66d	1,23b	9,2d	2510c	130c
RB965902	200b	93d	106,8c	146c	0,47c	0,42d	0,55c	136c	0,89d	1,20b	0,80d	29,1b	8338a	127c
RB966928	168c	148a	20,7a	158c	0,88a	1,25a	0,74b	158b	1,42a	0,85c	2,02a	5,6d	1864c	157b
SP80-1842	228a	77d	151,7d	153c	0,34d	0,25d	0,53c	133c	0,74d	1,55a	0,56d	41,1a	11345a	115d
Média	183	104	79,3	144	0,58	0,60	0,57	137	1,00	1,04	1,04	21,6	6597	131
CV (%)	7,91	7,93	22,18	5,51	11,79	17,63	10,74	5,36	7,92	17,54	15,09	22,18	26,38	5,75

Para abreviação dos índices de tolerância à seca, ver Tabela 8. CV: Coeficiente de variação.

O índice de estabilidade do rendimento (YSI) sob condições de restrição hídrica moderada classificou as variedades de cana-de-açúcar em quatro grupos, sendo que as variedades IACSP95-5000, RB835054, RB855156, RB867515, RB965902 e RB966928 foram classificados no grupo com o maior índice YSI, e a variedade SP80-1842 representou o

grupo com menor índice YSI. Em condições de restrição hídrica severa, o maior índice YSI foi obtida para as variedades RB867515 e RB966928, ao passo que o menor índice YSI foi obtido na variedade SP80-1842 (Tabela 9).

Em condições de restrição hídrica moderada, o maior índice de resistência à seca (DI) foi obtido para a variedades RB965902, enquanto o menor índice DI foi observado para as variedades RB855536 e SP80-1842. Em condições de restrição hídrica severa, o maior índice DI foi obtido para a variedade RB966928, e as variedades CTC4, RB825336, RB965902 e SP80-1842 foram classificadas no grupo com os menores índice DI (Tabela 9).

O índice de tolerância à seca (STI) sob condições de restrição hídrica moderada classificou as variedades RB855035, RB855453 e RB965902 no grupo com o maior valor do índice STI, ao passo que o menor índice STI foi obtido para a variedade RB855536. Em condições de restrição hídrica severa, o maior índice STI foi obtido para a variedade RB855035, e o menor índice STI foi observado para as variedades CTC4, IACSP95-5000, RB825336 e RB855536 (Tabela 9).

O índice da produtividade média geométrica (GMP) sob condições de restrição hídrica moderada classificou as variedades RB855035, RB855453 e RB965902 no grupo com o maior índice GMP, ao passo o menor índice GMP foi obtida para a variedade RB855536. Em condições de restrição hídrica severa, o índice GMP classificou as variedades RB855035, RB855453 e RB966928 no grupo com os maiores índices, e as variedades IACSP95-5000 e RB855536 foram classificadas no grupo com o menor índice GMP (Tabela 9).

O maior índice de rendimento (YI) sob condições de restrição hídrica moderada foi obtido para as variedades RB855035 e RB965902, ao passo que o menor índice YI foi obtido para a variedade IACSP95-5000. Em condições de restrição hídrica severa, o maior índice YI foi obtido para a variedade RB966928, ao passo que o menor índice YI foi obtido para as variedades CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855536, RB965902 e SP80-1842 (Tabela 9).

O maior índice de tolerância de estresse modificado (k_1 STI) sob condições de restrição hídrica moderada foi obtido para as variedades RB855035, RB855453 e SP80-1842, ao passo que o menor índice k_1 STI foi obtido para as variedades IACSP95-5000, RB855536 e RB867515. Em condições de restrição hídrica severa, o maior índice k_1 STI foi obtido para as variedades RB855035 e SP80-1842, ao passo que o menor índice k_1 STI foi obtido para as variedades IACSP95-5000, RB855536 e RB867515 (Tabela 9).

O índice tolerância de estresse modificado (k_2 STI) sob condições de restrição hídrica moderada foi maior para as variedades RB855035 e RB 965902, e menor para a variedade

RB855536. Em condições de restrição hídrica severa, o maior índice k_2 STI foi obtido para a variedade RB966928, ao passo que as variedades CTC 4, IACSP95-5000, RB825336, RB965902 e SP80-1842 (Tabela 9).

O índice de percentual de susceptibilidade ao estresse (SSPI) e o índice de tolerância abiótica (ATI) sob condições de restrição hídrica moderada foram maior para a variedade SP80-1842, ao passo que os menores índices SSPI e ATI foram obtidos para as variedades IACSP95-5000, RB835054, RB855156, RB867515, RB965902 e RB966928 (Tabela 9).

Em condições de restrição hídrica severa, o maior índice SSPI foi obtido na variedade SP80-1842, e o menor índice SSPI foi observado nas variedades RB855536, RB867515 e RB966928. Por sua vez, o maior índice ATI foi obtido para as variedades RB855035, RB855453, RB965902 e SP80-1842, enquanto as variedades IACSP95-5000, RB855536, RB867515 e RB966928 apresentaram o menor índice ATI (Tabela 9).

O maior índice de tolerância à seca da média harmônica (HM) sob condições de restrição hídrica moderada foi obtido nas variedades RB855035, RB855453 e RB965902, e o menor índice HM foi obtida para a variedade RB855536. Em condições de restrição hídrica severa, o maior índice HM foi obtido para a variedade RB855035, ao passo que o menor índice HM foi obtido para as variedades CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855536 e SP80-1842 (Tabela 9).

2.3.2. Análise de correlação

O coeficiente de correlação linear de Pearson foi utilizado para determinar os índices de tolerância à seca mais adequados para representar a produção de MSPA das plantas de cana-de-açúcar em condições controle e sob condições de restrição hídrica moderada e severa. A análise de correlação reportou associação positiva e altamente significativa entre os índices de tolerância à seca e a produção de MSPA das plantas sob condições controle (Y_P) e sob condições de restrição hídrica moderada ou severa (Y_S) (Tabela 10).

Em condições de restrição hídrica moderada, os maiores valores dos coeficientes de correlação linear de Pearson foram obtidos para os índices MP ($r = 0,93$ para Y_P e $r = 0,89$ para Y_S), STI ($r = 0,91$ para Y_P e $r = 0,90$ para Y_S), GMP ($r = 0,91$ para Y_P e $r = 0,92$ para Y_S), YI ($r = 0,67$ para Y_P e $r = 1,00$ para Y_S), k_1 STI ($r = 0,99$ para Y_P e $r = 0,63$ para Y_S), k_2 STI ($r = 0,66$ para Y_P e $r = 0,99$ para Y_S) e HM ($r = 0,89$ para Y_P e $r = 0,93$ para Y_S). Todos estes coeficientes de correlação foram significativos à 0,1% (Tabela 10). Portanto, estes índices são os mais adequados para identificar as variedades de cana-de-açúcar com maior

potencial de produção da parte aérea das plantas, tanto em condições de restrição hídrica moderada, como em condições de adequada disponibilidade de água (controle).

Benanni et al. (2017) avaliando 40 genótipos de trigo em níveis de estresse constataram que os índices de tolerância à seca DI, GMP, HM, MP, MSTI_{k1}, MSTI_{k2}, SSPI, STI e TOL sofreram influência dos níveis de estresse, por outro lado os índices ATI, GM e YI demonstraram estabilidade. Os resultados descritos por Benanni et al. (2017) são semelhantes ao presente trabalho, com exceção do índice YI que teve alta correlação. Drikvand et al. (2012) investigando a resposta de dez genótipos de trigo em condição de irrigado e sequeiro relataram que os índices MP, GMP e STI são indicados para esse tipo de seleção.

Tabela 10. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre a produção de matéria seca da parte aérea em condições de adequada disponibilidade de água (Y_P) e sob condições de restrição hídrica moderada ou severa (Y_S) e índices de tolerância à seca calculadas para as 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

		Deficiência hídrica moderada													
		Y _P	Y _S	TOL	MP	YSI	DI	STI	GMP	YI	k ₁ STI	k ₂ STI	SSPI	ATI	HM
Deficiência hídrica severa	Y _P	1	0,67**	0,60**	0,93**	-0,36	0,24	0,91**	0,91**	0,67**	0,99**	0,66**	0,60**	0,74**	0,89**
	Y _S	0,20	1	-0,20	0,89**	0,44*	0,88**	0,90**	0,92**	1,00**	0,63**	0,99**	-0,20	0,01	0,93**
	TOL	0,83**	-0,37	1	0,27	-0,95**	-0,63**	0,24	0,21	-0,20	0,63**	-0,19	1,00**	0,97**	0,16
	MP	0,89**	0,63**	0,49*	1	0,00	0,58**	0,99**	1,00**	0,89**	0,91**	0,89**	0,27	0,45*	0,99**
	YSI	-0,60**	0,65**	-0,93**	-0,17	1	0,81**	0,01	0,05	0,44*	-0,40*	0,42*	-0,95**	-0,86**	0,10
	DI	-0,25	0,88**	-0,73**	0,22	0,91**	1	0,59**	0,62**	0,88**	0,20	0,87**	-0,63**	-0,46*	0,65**
	STI	0,76**	0,78**	0,28	0,97**	0,05	0,41*	1	0,99**	0,90**	0,90**	0,91**	0,24	0,43*	0,99**
	GMP	0,76**	0,79**	0,28	0,97**	0,05	0,41*	1,00**	1	0,92**	0,89**	0,91**	0,21	0,40*	1,00**
	YI	0,20	1,00**	-0,37	0,63**	0,65**	0,88**	0,78**	0,79**	1	0,63**	0,99**	-0,20	0,01	0,93**
	k ₁ STI	0,99**	0,19	0,83**	0,88**	-0,58**	-0,25	0,76**	0,75**	0,19	1	0,64**	0,63**	0,77**	0,86**
	k ₂ STI	0,19	0,99**	-0,38	0,62**	0,65**	0,89**	0,77**	0,77**	0,99**	0,18	1	-0,19	0,01	0,93**
	SSPI	0,83**	-0,37	1,00**	0,49*	-0,93**	-0,73**	0,28	0,28	-0,37	0,83**	-0,38	1	0,97**	0,16
	ATI	0,94**	-0,11	0,95**	0,69**	-0,79**	-0,54**	0,53**	0,52**	-0,11	0,95**	-0,12	0,95**	1	0,36
HM	0,60**	0,90**	0,06	0,90**	0,25	0,58**	0,97**	0,98**	0,90**	0,59**	0,88**	0,06	0,33	1	

Para abreviação dos índices de tolerância à seca, ver Tabela 8. * e **: significativo à 1% e 0,1%, respectivamente.

Em condições de restrição hídrica severa, os maiores valores dos coeficientes de correlação linear de Pearson foram obtidos para os índices MP ($r = 0,89$ para Y_P e $r = 0,63$ para Y_S), STI ($r = 0,76$ para Y_P e $r = 0,78$ para Y_S), GMP ($r = 0,76$ para Y_P e $r = 0,79$ para Y_S), e HM ($r = 0,60$ para Y_P e $r = 0,90$ para Y_S). Todos estes coeficientes de correlação foram significativos à 0,1% (Tabela 10).

Os índices TOL ($r = 0,83$ para Y_P e $r = -0,37$ para Y_S), k₁STI ($r = 0,99$ para Y_P e $r = 0,19$ para Y_S), SSPI ($r = 0,83$ para Y_P e $r = -0,37$ para Y_S) e ATI ($r = 0,94$ para Y_P e $r = -0,11$ para Y_S), também apresentaram altos valores de coeficientes de correlação com a produção de

matéria seca em condições controle (Y_P), e valores de coeficientes de correlação relativamente baixos para as condições de restrição hídrica severa (Y_S).

Erdemci (2018) avaliando genótipos de grão de bico em condições estressantes e não estressantes constataram alta correlação dos índices SSI, SDI, TOL, ATI e SSPI quando não havia restrição hídrica.

No presente trabalho os índices TOL, k_1 STI, SSPI e ATI não foram adequados para identificar variedades com alto potencial de produção de MSPA em condições de restrição hídrica severa (Tabela 10). Por sua vez, os índices DI ($r = -0,25$ para Y_P e $r = 0,88$ para Y_S) e k_2 STI ($r = 0,19$ para Y_P e $r = 0,99$ para Y_S) tiveram altos valores de coeficiente de correlação com a produção de matéria seca da parte aérea das plantas em condições de restrição hídrica severa (Tabela 10).

Os valores relativamente baixos dos coeficientes de correlação entre a produção de MSPA sob condições controle (Y_P) e sob restrição hídrica moderada ($r = 0,67$) e severa ($r = 0,20$), indicam as variedades de cana-de-açúcar que apresentaram maior produção de matéria seca da parte aérea em condições controle, não necessariamente foram as variedades com maior potencial de produção de matéria seca da parte aérea em condições de restrição hídrica (Tabela 10).

Estes resultados indicam a complexidade da seleção de genótipos tolerantes à seca e, que possuem também, alto potencial de produção de MSPA em condições hídricas ótimas, de modo que, os genótipos em sua maioria, possuem respostas distintas às condições ambientais contrastantes.

A seleção com base em uma combinação de índices pode ser mais útil para selecionar genótipos tolerantes à seca. No entanto, o coeficiente de correlação determina o grau de associação linear apenas entre duas características. Assim, torna-se necessário uma abordagem melhor do que a análise de correlação, como os métodos de análise multivariada, para identificar genótipos superiores para os ambientes adversos.

2.3.3. Método do Ranqueamento

A discriminação do nível de tolerância, ou de susceptibilidade das variedades de cana-de-açúcar à restrição hídrica com base em apenas um único critério ou índice de tolerância à seca pode ser contraditória (Tabela 9). Por exemplo, de acordo com os índices TOL e YSI, as variedades de cana-de-açúcar IACSP95-5000, RB 835054, RB855156, RB867515, RB965902 e RB 966928 foram consideradas as mais tolerantes à seca em condições de restrição hídrica moderada, ao passo que com base nos índices MP, STI, GMP e

HM, as variedades RB855035, RB855453 e RB965902 foram consideradas as mais tolerantes à restrição hídrica moderada. Portanto, a diferenciação e a separação das variedades em diferentes níveis de tolerância à seca deve ser realizada levando-se em consideração todos os índices de tolerância (Naghavi et al., 2013). Neste sentido, o método do ranqueamento tem sido utilizado para classificar os genótipos em distintos níveis de tolerância à seca (Farshadfar et al., 2012).

Neste contexto, o ranqueamento das 13 variedades de cana-de-açúcar a partir dos diferentes índices de tolerância à seca calculados com base na produção de matéria seca em condições controle (Y_P) e sob condições de restrição hídrica moderada e severa (Y_S) é mostrado na Tabela 11.

Tabela 11. Ranqueamento, pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) e desvio padrão do ranqueamento (DP) para a produção de matéria seca da parte aérea (Y_P e Y_S) e os índices de tolerância à seca das 13 variedades de cana-de-açúcar cultivadas em condições de adequada disponibilidade de água e sob condições de restrição hídrica moderada ou severa. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Variedade	Y_P	Y_S	TOL	MP	YSI	DI	STI	GMP	YI	k_1 STI	k_2 STI	SSPI	ATI	HM	\bar{R} (\pm DP)	Nível de tolerância [†]
Deficiência hídrica moderada																
CTC2	5	7	10	6	11	10	6	6	7	5	7	4	4	6	6,7 (\pm 1,7)	MT
CTC4	7	11	8	9	8	11	9	9	11	7	11	6	5	9	8,6 (\pm 1,6)	MS
IACSP95-5000	12	12	6	12	6	8	12	12	12	12	12	8	8	12	10,3 (\pm 2,2)	S
RB825336	9	9	7	10	7	9	10	10	9	8	9	7	6	10	8,6 (\pm 1,1)	MS
RB835054	8	6	5	8	5	4	8	8	6	10	6	9	9	8	7,1 (\pm 1,6)	MS
RB855035	1	2	12	1	9	5	1	1	2	1	2	2	2	1	3,0 (\pm 2,4)	T
RB855156	6	3	4	5	3	2	4	4	3	6	3	10	10	4	4,8 (\pm 1,9)	MT
RB855453	3	4	11	2	10	7	2	2	4	3	4	3	3	3	4,4 (\pm 2,1)	MT
RB855536	13	13	9	13	12	13	13	13	13	13	13	5	7	13	11,6 (\pm 2,0)	S
RB867515	11	8	3	11	4	6	11	11	8	11	8	11	12	11	9,0 (\pm 2,4)	MS
RB965902	4	1	2	3	1	1	3	3	1	4	1	12	11	2	3,5 (\pm 2,4)	T
RB966928	10	5	1	7	2	3	7	7	5	9	5	13	13	7	6,7 (\pm 2,8)	MT
SP80-1842	2	10	13	4	13	12	5	5	10	2	10	1	1	5	6,6 (\pm 4,0)	MT
Deficiência hídrica severa																
CTC2	5	3	7	3	5	3	4	4	3	5	3	7	5	4	4,4 (\pm 1,1)	MT
CTC4	7	10	9	10	11	11	10	10	10	7	9	5	6	10	8,9 (\pm 1,5)	MS
IACSP95-5000	12	11	4	12	6	9	12	12	9	12	10	10	10	12	10,1 (\pm 1,8)	S
RB825336	9	12	8	11	10	12	11	11	12	8	12	6	7	11	10,0 (\pm 1,7)	MS
RB835054	8	7	5	8	4	5	7	7	7	9	7	9	9	7	7,1 (\pm 1,1)	MS
RB855035	1	2	12	1	8	4	1	1	2	1	2	2	1	1	2,8 (\pm 2,2)	T
RB855156	6	6	6	7	7	6	5	5	6	6	6	8	8	5	6,2 (\pm 0,7)	MT
RB855453	3	4	11	2	9	7	2	2	4	3	4	3	3	3	4,3 (\pm 2,0)	MT
RB855536	13	9	3	13	3	8	13	13	11	13	11	11	11	13	10,4 (\pm 2,6)	S
RB867515	11	5	2	9	2	2	9	9	5	11	5	12	12	6	7,1 (\pm 3,3)	MS
RB965902	4	8	10	6	12	10	6	6	8	4	8	4	4	8	7,0 (\pm 2,1)	MT
RB966928	10	1	1	4	1	1	3	3	1	10	1	13	13	2	4,6 (\pm 4,0)	MT
SP80-1842	2	13	13	5	13	13	8	8	13	2	13	1	2	9	8,2 (\pm 4,2)	MS

[†] T = refere-se a uma variedade de cana-de-açúcar tolerante à seca, recebendo pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 1 a 4,0; MT = variedade moderadamente tolerante com pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 4,1 a

7,0; MS = variedade moderadamente sensível com pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 7,1 a 10,0; S = variedade da cana-de-açúcar sensível à seca com a pontuação média do ranqueamento (\bar{R}) de 10,1 a 13.

Considerando todos os índices de tolerância à seca, as variedades de cana-de-açúcar RB855035 e RB965902 expostas à restrição hídrica moderada apresentaram a melhor classificação média pelo método do ranqueamento, recebendo pontuações de 3,0 e 3,5 (Tabela 11) e, portanto, estas variedades foram classificadas como tolerantes à restrição hídrica moderada.

As variedades IACSP95-5000 e RB855536 apresentaram as piores classificações (maior pontuação) pelo método do ranqueamento e, então, foram classificadas como suscetíveis à restrição hídrica moderada. Em condições de restrição hídrica severa, a variedade RB855035 foi classificada como tolerante à seca, ao passo que as variedades IACSP95-5000 e RB855536 foram classificadas como suscetíveis à restrição hídrica severa (Tabela 11).

2.3.4. Análise Multivariada de Agrupamento Hierárquico

O método de agrupamento hierárquico da ligação de Ward, com base na distância euclidiana média padronizada (D) e utilizando-se o valor de 50% de similaridade como critério para definição dos grupos, agrupou as 13 variedades de cana-de-açúcar em quatro grupos de tolerância à seca (Figura 2).

Em condições de restrição hídrica moderada, a análise multivariada de agrupamento hierárquico agrupou as variedades em quatro grupos de tolerância constituídos por 3, 4, 1 e 5 variedades de cana-de-açúcar, respectivamente (Figura 2A).

O primeiro grupo foi representado pelas variedades com os maiores índices de tolerância à seca e, portanto, foi considerado o grupo tolerante à restrição hídrica moderada. O segundo e o quarto grupo representou as variedades com os valores intermediários dos índices de tolerância à seca e, portanto, as variedades pertencentes a estes grupos foram classificadas como moderadamente tolerante e moderadamente suscetíveis à restrição hídrica moderada, respectivamente. Por sua vez, o terceiro grupo representou a variedade com os menores índices de tolerância à seca e, assim, foi considerada mais sensível aos efeitos adversos da restrição hídrica moderada.

Perante o exposto, as variedades de cana-de-açúcar SP80-1842, RB855035 e RB855453 foram identificadas como as mais tolerantes à seca, e a variedade RB855536 foi classificada como a mais suscetível à restrição hídrica moderada (Figura 2A).

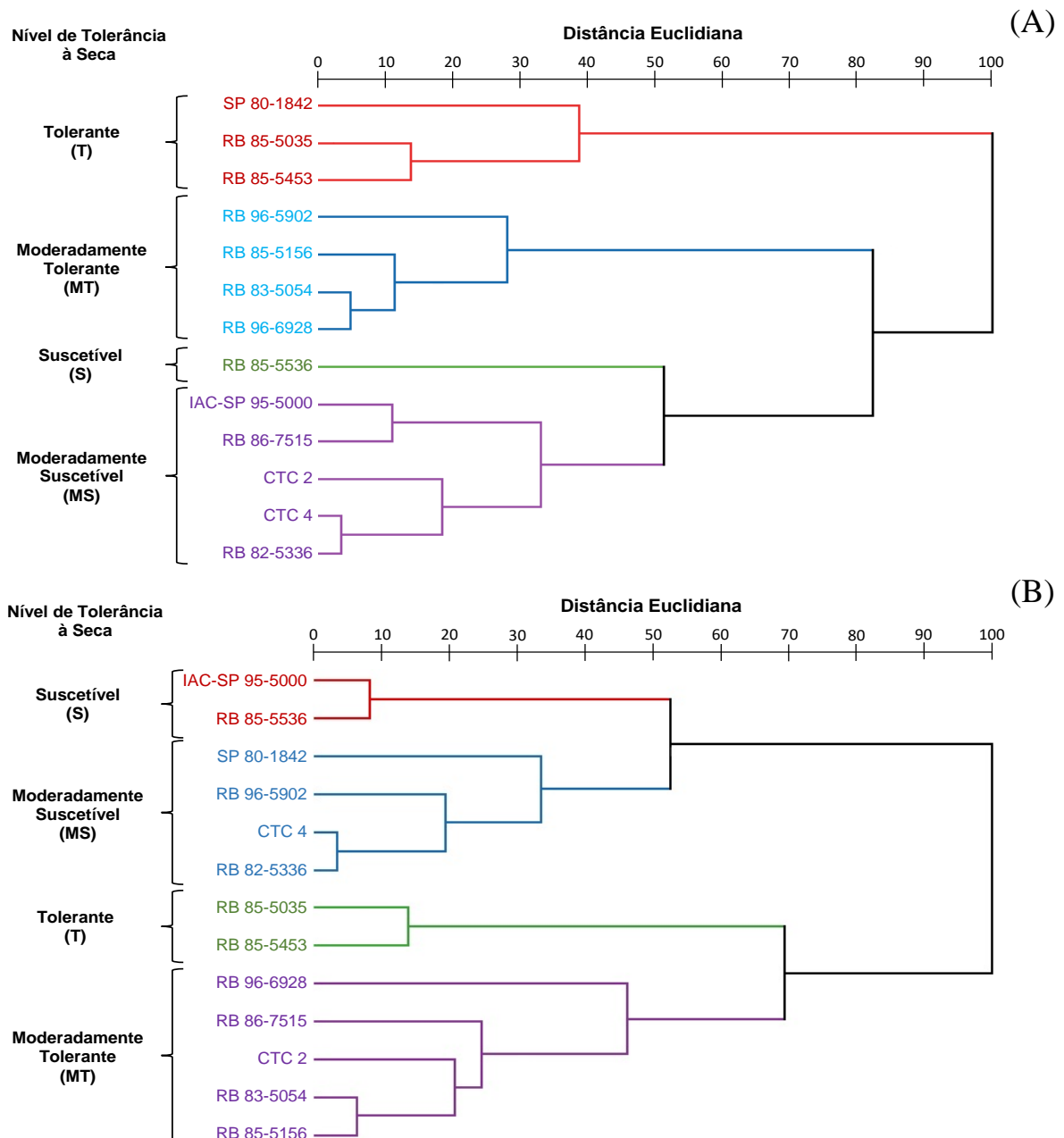


Figura 2. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico das 13 variedades de cana-de-açúcar base na distância Euclidiana média padronizada e no método de variância mínima de Ward utilizando a produção de matéria seca da parte aérea em condições de adequada disponibilidade de água (Y_P) e sob deficiência hídrica (Y_S) e os índices de tolerância à seca (TOL, MP, YSI, DI, STI, GMP, YI, k_1 STI, k_2 STI, SSPI, ATI e HM) para o cultivo em condições de restrição hídrica moderada (A) e severa (B).

Em condições de restrição hídrica severa, o grupo 1 composto pela IACSP95-5000 e RB855536 representou as variedades com os menores índices de tolerância à seca e, portanto, foi considerado o grupo mais sensível à restrição hídrica severa (Figura 2B). O grupo 2 composto pela SP80-1842, RB965902, CTC 4 e RB825336 e o grupo 4 composto pela RB

966928, RB867515, CTC2, RB835054 e RB855156 representam as variedades com os valores intermediários dos índices de tolerância à seca e, portanto, foram classificadas como moderadamente suscetíveis e moderadamente tolerante à restrição hídrica severa, respectivamente. O grupo 3 composto pela RB855035 e RB855453 representam as variedades com os maiores índices de tolerância à seca e, portanto, foi considerado o grupo tolerante à restrição hídrica severa (Figura 2B).

2.3.5. Análise de componente principal (ACP)

Em condições de restrição hídrica moderada, o primeiro componente principal explica 66,6% da variação total, enquanto o segundo componente principal explica 32,9% da variação (Figura 3A). Devido ao fato dos dois primeiros componentes principais terem explicado mais de 80% da variância total de caracteres analisados (99,5% da variância total acumulada), é possível explicar de maneira satisfatória a variabilidade entre os genótipos considerados na avaliação, permitindo interpretar o fenômeno com considerável simplificação podendo assim, representá-las em gráfico de dispersão bidirecional (Figura 3) (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

De acordo com o valor dos autovetores, os pesos dos índices GMP (-0,339), HM (-0,339), MP (-0,337), STI (-0,337), YI (-0,319), Y_s (-0,319), k_2 STI (-0,317), Y_c (-0,296), k_1 STI (-0,289) e DI (-0,226) são negativamente altos para esse componente principal. Isso indica que quanto maior o valor desses índices de tolerância à seca, menor é o escore do primeiro componente principal. Portanto, quanto maior a nota desses índices de tolerância à seca menor é o escore do primeiro componente principal, e, então, a variedade de cana-de-açúcar pode ser considerada tolerante à restrição hídrica.

O biplot mostra que os índices YI e k_2 STI foram os melhores para identificar variedades tolerantes à condição de restrição hídrica. Menezes et al. (2014) relatou que apenas o índice YI foi adequado na identificação do genótipo quando havia estresse hídrico. Em contrapartida os vetores dos índices HM, GMP, STI e MP plotados entre Y_s e Y_p , sendo assim similares para a seleção de seca. Os resultados encontrados corroboram com os encontrados por Dadbakhsh et al. (2011) e Menezes et al. (2014). O índice HM é o mais adequado para dividir simetricamente o ângulo formado por Y_s e Y_p , sendo assim o índice apropriado para selecionar as variedades adaptadas em ambas condições conforme relatado por Menezes et al. (2014).

O primeiro componente principal pode ser interpretado como um índice de desempenho global da tolerância das variedades de cana-de-açúcar à restrição hídrica. Como

os pesos são negativos, quando maior for os índices de tolerância à seca, menor é o valor desse componente e melhor é o índice global de tolerância da variedade de cana-de-açúcar. Portanto, escore mais baixo no primeiro componente principal indica que o índice de tolerância é melhor.

As variedades de cana-de-açúcar RB855053 e RB965902 tiveram os melhores índices de desempenho global, respectivamente, e, portanto, estas variedades foram classificadas como tolerantes à restrição hídrica moderada. Por sua vez, o menor índice de desempenho global foi observado na variedade RB855536, e assim esta foi classificada como suscetível à restrição hídrica moderada (Figura 3A).

Em condições de restrição hídrica severa, o primeiro componente principal explica 57,9% da variação total, enquanto o segundo componente principal explica 41,4% da variação (Figura 3B). Isso indica que os dois primeiros componentes principais explicam 99,3% da variância total. De acordo com o valor dos autovetores, os pesos dos índices GMP (-0,362), STI (-0,362), HM (-0,360), MP (-0,347), YI (-0,310), Y_s (-0,310), k_2 STI (-0,307), Y_c (-0,257) e k_1 STI (-0,255) são negativamente altos para esse componente principal. Isso indica que quanto maior o valor desses índices de tolerância à seca, menor é o escore do primeiro componente principal. Portanto, quanto maior a nota desses índices de tolerância à seca menor é o escore do primeiro componente principal, e, então, a variedade pode ser considerada tolerante à restrição hídrica.

Considerando o diagrama biplot os índices YI e k_2 STI são melhores em distinguir as variedades superiores que apresentam alto rendimento em condições de estresse. Enquanto os índices HM, GMP, STI e MP identificaram os genótipos com altos rendimentos sob restrição severa ou boa disponibilidade de água. Dadbakhsh et al. (2011) avaliando estresse hídrico em genótipos de trigo relatou resultados similares ao presente trabalho. Drikvand et al. (2012) afirmou que os índices MP, GMP e STI foram mais adequados a identificar cultivares de trigo de sequeiro com maior desempenho em condições de escassez hídrica.

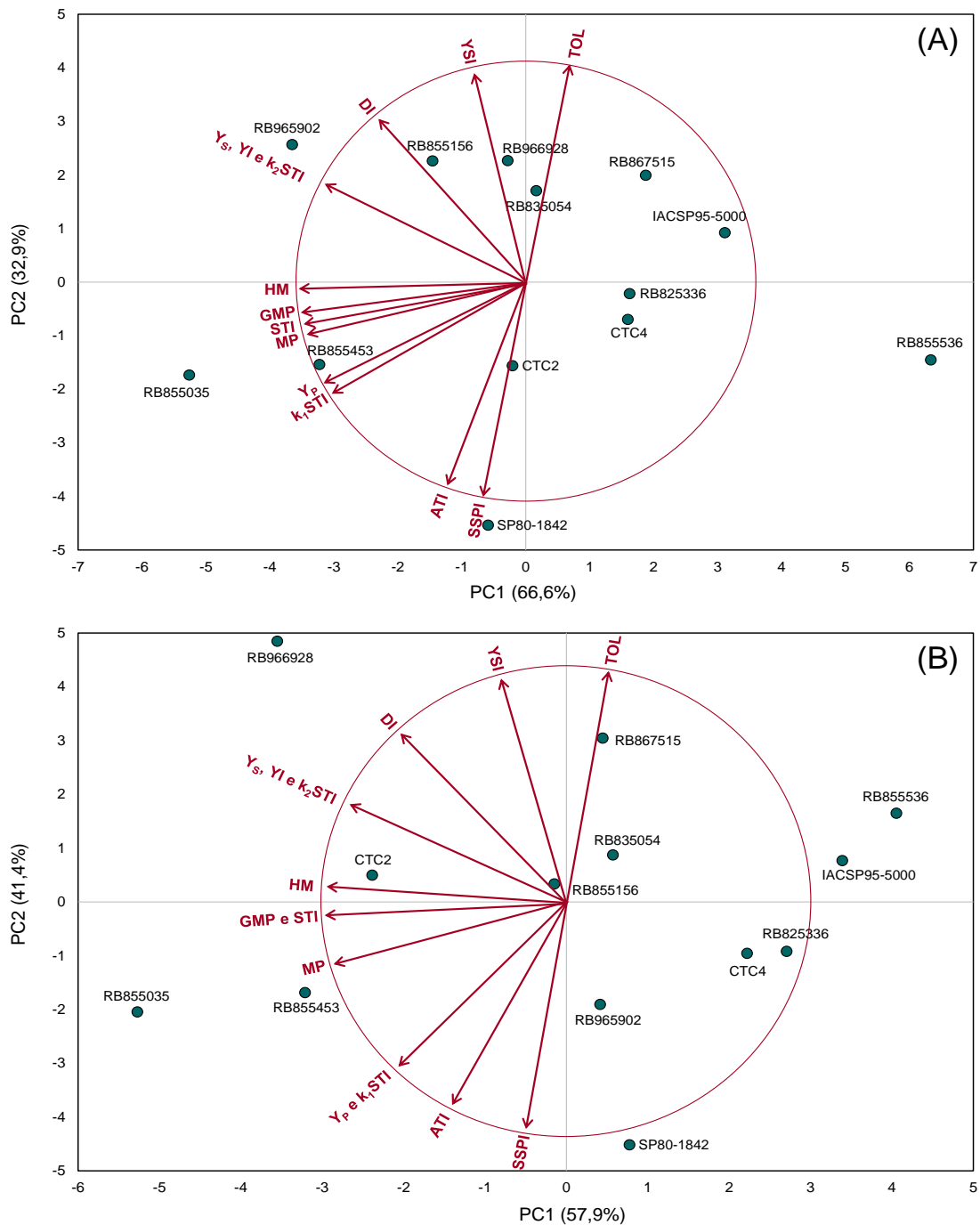


Figura 3. Diagrama Biplot com base no primeiro e segundo componentes principais para a produção de matéria seca da parte aérea das 13 variedades de cana-de-açúcar em condições de adequada disponibilidade de água (Y_P) e sob deficiência hídrica (Y_S) e índices de tolerância à seca (TOL , MP , YSI , DI , STI , GMP , YI , k_1STI , k_2STI , $SSPI$, ATI e HM) para o cultivo em condições de restrição hídrica moderada (A) e severa (B).

As variedades de cana-de-açúcar RB855035, RB965902 e RB 855453 tiveram os melhores índices de desempenho global, respectivamente, e, portanto, estas variedades foram classificadas como tolerantes à restrição hídrica severa. Por sua vez, os piores índices de

desempenho global foram observados nas variedades RB855536 e IACSP95-5000, e assim estas variedades foram classificadas como suscetíveis à restrição hídrica severa (Figura 3B).

Em síntese, os três métodos de análise multivariada utilizados neste estudo (método do ranqueamento, análise de agrupamento hierárquico e análise de componente principal) agruparam a variedade de cana-de-açúcar RB855035 como tolerante à restrição hídrica moderada (Tabela 11, Figuras 2A e 3A), ao passo que a variedade RB965902 foi classificada como tolerante à restrição hídrica moderada pelos métodos do ranqueamento (Tabela 11) e análise de componente principal (Figura 3A), e as variedades RB855453 e SP801842 foram classificadas como tolerantes à restrição hídrica moderada pela análise de agrupamento hierárquico (Figura 2A).

Em condições de restrição hídrica severa, os três métodos de análise multivariada agruparam a variedade RB855035 como tolerante à restrição hídrica severa (Tabela 11, Figuras 2B e 3B), e a variedade RB855453 foi classificada como tolerante à restrição hídrica severa pelos métodos da análise de agrupamento hierárquico (Figura 2B) e análise de componente principal (Figura 3B), e a variedade RB966928 foi classificada como tolerante à restrição hídrica severa pela análise de componente principal (Figura 3A).

Em condições de restrição hídrica moderada, os três métodos de análise multivariada agruparam a variedade de cana-de-açúcar RB855536 como sensível à restrição hídrica moderada (Tabela 11, Figuras 2A e 3A), enquanto a variedade IACSP95-5000 também foi classificada como sensível à restrição hídrica moderada pelo método do ranqueamento (Tabela 11).

Em condições de restrição hídrica severa, os três métodos de análise multivariada agruparam as variedades RB855536 e IACSP95-5000 como suscetíveis à restrição hídrica severa (Tabela 11, Figuras 2B e 3B). Portanto, estas variedades não devem ser recomendadas para o cultivo em regiões com alta probabilidade de ocorrência de restrição hídrica durante o cultivo sob condições de sequeiro.

2.4 CONCLUSÕES

As variedades RB855035, RB855453, RB 965902 possuem maior tolerância à seca.

As variedades RB855536 e IACSP95-5000 possuem maior susceptibilidade à restrição hídrica moderada e severa, e não devem ser recomendadas para o cultivo em condições de sequeiro em regiões com alta probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica.

Os índices de tolerância MP, DI, STI, GMP, YI, k_1 STI, k_2 STI e HM foram os mais indicados para identificar as variedades de cana-de-açúcar com maior tolerância à seca e com potencial de produção de matéria seca da parte aérea em condições de restrição hídrica moderada e severa.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKÇURA, M.; PARTIGO, F.; KAYA, Y. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in Turkish bread wheat landraces. **The Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 21, n. 8, p. 700-709, 2011.

BLUM, A. **Plant breeding for stress environments**. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1988.

BOUSLAMA, M.; SCHAPAUGH, W. T. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. **Crop Science**, v. 24, p. 933-937, 1984.

Bennani S.; Nsarellah N.; Jlibene M.; Tadesse W.; Birouk A.; Ouabbou H. Efficiency of drought tolerance indices under different stress severities for bread wheat selection. **Australian Journal of Crops Science**, v. 11, n. 04, p. 395-405, 2017.

CABRAL, R. C.; MAEKAWA, S. C. E.; ZUFFO, A. M & STEINER, F. Selection indices to identify drought-tolerant soybean cultivars. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-25, 2020.

CASAROLI, D.; LIER, Q. J.; Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 59-66, 2008.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. 585p.

DADBAKSH, A.; YAZDANSEPAS, A.; AHMADIZADEH, M. Study Drought Stress on Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes by Drought Tolerance Indices. **Advances in Environmental Biology**, v. 5, n. 7, p. 1804-1810, 2011.

DRIKVAND, R.; DOOSTY.; HOSSEINPOUR, T. Response of rainfed wheat genotypes to drought stress using drought tolerance indices. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 7, p. 123-131, 2012.

EL-RAWY, M.A.; HASSAN, M. I. Effectiveness of drought tolerance indices to identify tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 17, n. 4, p. 255-266, 2014.

ERDEMCİ, I. Evaluation of Drought Tolerance Selection Indices Using Grain Yield in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Notulae Scientia Biologicae**, v. 10, n. 3, p. 439-446, 2018.

FARSHADFAR, E.; SUTKA, J. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. **Cereal Research Communications**, v. 31, n. 1, p. 33-40, 2002.

FARSHADFAR, E.; POURSIABIDI, M. M.; ABOOGHADAREH, A. R. P. Repeatability of drought tolerance indices in bread wheat genotypes. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 4, n. 13, p. 891-903, 2012.

FARSHADFAR, E.; SUTKA, J. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. **Cereal Res Commun**, v. 31, p. 33-39, 2002.

FERNANDEZ, G. C. J. **Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance**. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Taiwan 13-16 August 1992, 257-270 p.

FERREIRA, T. H. S.; TSUNADA, M. S.; BASSI, D.; ARAÚJO, P.; MATTIELLO, L.; GUIDELLI, G. V.; RIGHETTO, G. L.; GONÇALVES, V. R.; LAKSHMANAN, P.; MENOSSI, M. Sugarcane water stress tolerance mechanisms and its implications on developing biotechnology solutions. **Frontiers in Plant Science**. v. 8, n. 1077, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

GAVUZZI, P.; RIZZA, F.; PALUMBO, M.; CAMPALINE, R. G.; RICCIARDI, G. L.; BORGHI, B. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 77, p. 523-531, 1997.

GHOLINEZHAD, E.; DARVISHZADEH, R.; BERNOUSI, I. Evaluation of drought tolerance indices for selection of confectionery sunflower (*Helianthus annuus* L.) landraces under various environmental conditions. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 42, n. 3, p. 187-201, 2014.

JAFARI, A.; PAKNEJAD, F.; JAMI AL-AHMADI, M. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. **International Journal of Plant Production**, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2009.

MENEZES, C. B.; TICONA-BENAVENTE, C. A.; TARDIN, F. D.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; NOGUEIRA, D. W.; PORTUGAL, A. F.; SANTOS, C. V.; SCHAFFERT, R. E. Selection indices to identify drought-tolerant grain sorghum cultivars. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 4, p. 9817-9827, 2014.

MOHAMMADI, R.; ARMION, M.; KAHRIZI, D.; AMRI, A. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. **International Journal of Plant Production**, v. 4, p. 11-24, 2010.

MOOSAVI, S. S.; SAMADI, B. Y.; NAGHAVI, M. R.; ZALI, A. A.; DASHTI, H. POURSHAHBAZI, A. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. **Desert**, v. 12, p. 165-178, 2008.

NAGHAVI, M. R.; POUR-ABOUGHADAREH, A.; KHALILI, M. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 5, n. 3, p. 388-393, 2013.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D. & LOURENÇO, S., eds. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p. 189-254.

PINCELLI, R. P.; SILVA, M. A. Alterações morfológicas foliares em cultivares de cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 546-556, 2012.

ROSIELLE, A. A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**, v. 21, p. 943-946, 1981.

SÁNCHEZ-REINOSO, A. D.; LIGARRETO-MORENO, G. A.; RESTREPO-DÍAZ, H. Evaluation of drought indices to identify tolerant genotypes in common bean bush (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 1, p. 99-107, 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. YIELD. Components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 620-627, 2008.

SILVA, M. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. L.; PINCELLI, R. P.; SANTOS, C. M.; MOURA, P. C. S. Características morfofisiológicas e produtividade de cana-de-açúcar variam de acordo com a cultivar e o regime hídrico. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 160-177, 2015.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; DA SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SANTOS, C. M.; JADOSKI, C. J.; SILVA, J. A. G. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 56, n. 5, p. 735-748, 2013.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017. 573p.

VIEIRA, E. A.; SILVA, M. G.; MORO, C. F.; LAURA, V. A. Physiological and biochemical changes attenuate the effects of drought on the Cerrado species *Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke. **Plant Physiological Biochemistry**, v. 115, p. 472-483, 2017.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; DELAZARI, F. T. Indicadores morfo-fisiológicos do estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 65-75, 2014.

APÊNDICES



Apêndice 1. Ilustração do plantio dos minirrebolos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em bandejas plásticas contendo substrato comercial para a produção das mudas pré-brotadas (MPB). UEMS/Cassilândia. 2019.



Apêndice 2. Ilustração das mudas pré-brotadas (MPB) da variedade de cana-de-açúcar RB 85-5453 aos 18 dias após a brotação. UEMS/Cassilândia. 2019.



Apêndice 3. Ilustração do crescimento inicial das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) aos 10 dias após o transplântio das mudas pré-brotadas (MPB) para os vasos plásticos e mantidas em condições de casa de vegetação. UEMS/Cassilândia, 2019.



Apêndice 4. Vista geral do experimento e do crescimento das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) aos 65 dias após o transplântio das mudas pré-brotadas (MPB) para os vasos plásticos e mantidas em condições de casa de vegetação. UEMS/Cassilândia, 2019.



Apêndice 5. Vista geral do experimento e do potencial de perfilhamento das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) aos 20 dias após a imposição da restrição hídrica em condições de casa de vegetação. UEMS/Cassilândia, 2019.