



Universidade Federal  
de São João del-Rei

**NAIA THAIS ALVES DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA E PRODUTIVA DE  
GENÓTIPOS DE MILHO CONTRASTANTES À SECA E CULTIVADOS  
SOB DÉFICIT HÍDRICO**

**SETE LAGOAS  
2019**

**NAIA THAIS ALVES DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA E PRODUTIVA DE  
GENÓTIPOS DE MILHO CONTRASTANTES À SECA E CULTIVADOS  
SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. D.Sc. Iran Dias Borges

Coorientador: Ph.D. Paulo César Magalhães

**SETE LAGOAS  
2019**

S586c

Silva, Naia Thais Alves de.

CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA E PRODUTIVA DE GENÓTIPOS DE MILHO CONTRASTANTES À SECA E CULTIVADOS SOB DÉFICIT HÍDRICO / Naia Thais Alves de Silva ; orientador Iran Dias Borges; coorientador Paulo César Magalhães. -- Sete Lagoas, 2019.

52 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São João del-Rei, 2019.

1. Zea mays. 2. Déficit hídrico. 3. Trocas gasosas. 4. Produção. 5. Raízes. I. Borges, Iran Dias, orient. II. Magalhães, Paulo César, co-orient. III. Título.

**NAIA THAIS ALVES DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA E PRODUTIVA DE  
GENÓTIPOS DE MILHO CONTRASTANTES PARA TOLERÂNCIA À  
SECA E CULTIVADOS SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. D.Sc. Iran Dias Borges

Coorientador: Ph.D. Paulo César Magalhães

Sete Lagoas, 12 de Agosto de 2019.

Banca examinadora:

Prof. D.Sc. Renzo Garcia Von Pinho – Universidade Federal de Lavras

D.Sc. Isabel Regina Prazeres de Souza – Embrapa Milho e Sorgo

---

Prof. Dr. Iran Dias Borges – UFSJ  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

As vezes desconhecemos o poder de Deus e as suas estratégias e planos para com seus filhos, e foi assim desconhecendo a força a mim concedida por Ele que cheguei até aqui. Obrigada por sua presença em minha vida, pelas suas manifestações grandiosas que me permitiram ser o que sou hoje. Obrigada meu Senhor por tudo e a todos que gentilmente colocou em meu caminho para me ensinar, me consolar, me ajudar e incentivar. Por todos os seus anjos terrenos que me ajudaram, eu lhe agradeço. Citarei alguns, não menosprezando àqueles que indiretamente também contribuíram.

Agradeço aos meus pais Pedro e Isabel, por todos os esforços em me educar e tornar-me uma pessoa de boa índole. À minha irmã Amanda Geice por sua cumplicidade, cuidados e dedicação. Ao meu noivo Gilmar pela compreensão e carinhos dedicados. À minha tia Neda que me acolheu com carinho e aconselhou quando preciso.

Ao meu orientador D.Sc. Iran Dias Borges e co-orientador PhD Paulo César Magalhães que me aceitaram como orientada, pela paciência e conhecimentos compartilhados.

À D.Sc Daniele Maria Marques que além dos conhecimentos e das experiências repassadas, também se mostrou muito paciente e solidária.

Aos companheiros da Embrapa Milho e Sorgo, em especial ao Gilberto e Carlos César que muito contribuíram na execução da pesquisa.

Aos amigos que conquistei nesta caminhada cheia de obstáculos, em especial a Juliana Morato com quem pude contar sempre que precisei.

A todos os professores da Universidade Federal De São João Del-Rey que contribuíram para o meu aprendizado e formação profissional.

À Embrapa Milho e Sorgo pela oportunidade de desenvolver meu estudo.

**Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para minha formação e se fizeram presentes.**

**Obrigada!**

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
2.1 Origem e Botânica .....	3
2.2 Importância .....	3
2.3 Panorama Nacional.....	4
2.4 Necessidade hídrica da cultura.....	4
2.5 Mecanismos de tolerância à seca.....	5
2.6 Aspectos ecofisiológicos influenciados pelo estresse hídrico .....	6
2.7. Características dos genótipos de milho em estudo .....	7
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	8
4. CAPÍTULO 1 .....	11
4.1. CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE MILHO CONTRASTANTES À SECA E CULTIVADOS SOB DÉFICIT HÍDRICO .....	11
4.2. RESUMO .....	12
4.3. ABSTRACT .....	13
4.4. INTRODUÇÃO.....	14
4.5. MATERIAL E MÉTODOS .....	16
4.5.1. Avaliações Ecofisiológicas .....	17
4.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
4.7. CONCLUSÕES.....	30
4.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
5. CAPÍTULO 2 .....	34
5.1. RESPOSTAS DE VARIÁVEIS AGRONÔMICAS E RADICULARES DE GENÓTIPOS DE MILHO CONTRASTANTES À SECA E CULTIVADO SOB DÉFICIT HÍDRICO .....	34
5.2. RESUMO .....	35
5.3. ABSTRACT .....	36
5.4. INTRODUÇÃO.....	37
5.5. MATERIAL E MÉTODOS .....	38
5.5.1. Avaliações Agronômicas .....	38
5.5.2. Análise de raízes.....	39
5.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
5.7. CONCLUSÕES.....	50
5.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

## **CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA E PRODUTIVA DE GENÓTIPOS DE MILHO CONTRASTANTES PARA TOLERÂNCIA À SECA E CULTIVADOS SOB DÉFICIT HÍDRICO**

**RESUMO** - O milho é considerado dentre os cereais, um dos mais importantes comercialmente e socialmente disponível para cultivo anual. As mudanças climáticas que estão ocorrendo no planeta e as suas consequências, tem se apresentado como uma das principais limitações para a agricultura, principalmente no que diz respeito aos regimes pluviométricos característicos de cada região, que têm sido afetados. Dessa forma é imprescindível a busca por novas culturas e cultivares, neste novo panorama climático, adaptadas e capazes de responder em qualidade e produtividade. Genótipos de milho adaptados e com alto rendimento poderiam ser mais eficientes, se atributos que conferem rendimento sob condições ambientais subótimas, como disponibilidade de água, pudessem ser identificados e utilizados como parâmetro de seleção. Desta forma é muito importante o estudo das características morfológicas de raiz e ecofisiológicas, ocorridas no desenvolvimento da planta de milho e possíveis mudanças em função da indisponibilidade hídrica no estágio de maior exigência (Florescimento), além das prováveis influências destes nos componentes de produção. Neste trabalho foram desenvolvidos dois capítulos que se complementam, no qual, o primeiro objetivou caracterizar as interferências e modificações ecofisiológicas que podem ser causadas pelo estresse hídrico em genótipos de milho sensíveis e tolerantes ao estresse hídrico. Em condição de estresse hídrico severo, os genótipos tolerantes (DKB 390 e BRS 1055) se destacaram, alcançando altas taxas fotossintéticas, quando comparados aos genótipos sensíveis. O genótipo DKB 390 foi menos afetado, quanto ao índice de clorofila avaliado, em situação de estresse hídrico moderado, demonstrando a capacidade de manutenção da pigmentação verde nos tecidos foliares, implicando maior potencial da atividade fotossintética. O estresse hídrico médio e severo, nas condições do estudo realizado, não foi suficiente para distinguir os genótipos sensíveis dos tolerantes com relação à condutância estomática e transpiração foliar. Apesar da eficiência do fotossistema II não ter sido comprometida, a capacidade fotossintética das plantas foram diretamente afetadas pela condição de seca. No segundo, caracterizar as mudanças morfológicas do sistema radicular e dos aspectos agrônômicos, relacionados à produtividade dos genótipos de milho cultivados sob estresse hídrico. A produção de grãos do DKB 390 sobressaiu-se sobre os demais genótipos sensíveis estudados bem como superando o genótipo também tolerante BRS 1055. Sob estresse hídrico as plantas de milho tiveram maior desenvolvimento radicular comparado às plantas cultivadas em sistema irrigado. Os genótipos BRS 1055 e BRS 1010 alcançaram melhor desenvolvimento do sistema radicular sob cultivo estressado, no entanto, a produção de grãos não foi correlacionada com tal característica.

Palavras-chave: *Zea mays*; Estresse hídrico; Ecofisiologia.

## **ECO-PHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE CHARACTERIZATION OF CONTRACTING CORN GENOTYPES FOR DRY TOLERANCE CULTIVATED UNDER WATER DEFICIT**

**ABSTRACT** - Corn is considered to be one of the most important cereals commercially and socially available for annual cultivation. Climate change and its consequences has been one of the main limitations for agriculture, mainly due to rainfall changes in different regions, which have been affected. Therefore, the search for new crops and adapted cultivars capable of responding in quality and productivity in these new climatic conditions is essential. High-yield adapted maize genotypes could be more efficient if yield characteristics under suboptimal environmental conditions, such as water availability, could be identified and used as a selection parameter. Thus, it is very important to study the root morphological and ecophysiological characteristics that occurred in the development of the maize plant and possible changes due to water unavailability at the most demanding stage (Flowering), as well as the probable influences of these on the production components. In this work two complementing chapters, in which the first aimed at study and characterize the ecophysiological interferences and modifications that may be caused by water stress in sensitive and tolerant maize genotypes. Under severe water stress, the tolerant genotypes (DKB 390 and BRS 1055) had remarkable performance, achieving high photosynthetic rates when compared to sensitive maize genotypes. DKB 390 was less affected, considering chlorophyll index, under moderate water stress, demonstrating the ability to maintain green pigmentation in leaf tissues, implying greater potential of photosynthetic activity. Moderate and severe water stress, under the conditions of the study, was not sufficient to distinguish between sensitive and tolerant genotypes as far as stomatal conductance and leaf transpiration are concerned. Although the efficiency of photosystem II was not compromised, the photosynthetic capacity of the plants was directly affected by the drought condition. In the second, characterize the morphometric changes of the root system and agronomic aspects related to the yield of corn genotypes cultivated under water stress. DKB 390 grain yield stood out above the other sensitive genotypes as well as overcoming the tolerant genotype BRS 1055. Under water stress maize plants had better root development compared to plants grown under irrigated system. The genotypes BRS 1055 and BRS 1010 achieved better root system development under stressed cultivation. However, grain yield was not correlated with this characteristic.

Keywords: *Zea mays*; Water stress; Ecophysiology



## 1. INTRODUÇÃO

Um dos fatores que mais dificultam o desempenho da produção agrícola atualmente são os estresses abióticos, destacando-se a seca. Nas regiões áridas e semiáridas, as quais se caracterizam pela escassez hídrica, onde se encontram uma das grandes áreas cultivadas do país (Lavinsky et al., 2015).

O milho é considerado dentre os cereais, um dos mais importantes comercialmente e socialmente disponível para cultivo anual. Sua importância se caracteriza principalmente pelas diversas formas de sua utilização que atendem desde a agricultura de subsistência até os mais altos padrões de investimento agrícola, visando máxima produtividade. No entanto, sua produtividade está diretamente ligada à capacidade de adaptação as condições adversas de clima, principalmente no que diz respeito à disponibilidade hídrica, que afeta consideravelmente o rendimento de grãos.

Apesar do milho segunda safra, ser quase sempre cultivado em condições climáticas desfavoráveis (CRUZ et al., 2010), vem se destacando quanto alta da produção, com previsão da safrinha de cerca de 73% da produção total de milho (*Zea mays* L.) no Brasil na safra 2018/2019 (CONAB, 2019).

As mudanças climáticas que estão ocorrendo no planeta e as suas consequências, tem se apresentado como uma das principais limitações para a agricultura, principalmente no que diz respeito aos regimes pluviométricos característicos de cada região, que têm sido afetados. Dessa forma é imprescindível a busca por novas culturas e cultivares, neste novo panorama climático, adaptadas e capazes de responder em qualidade e produtividade.

É importante ressaltar que a produtividade final do milho (*Zea mays* L.) é condicionada principalmente à disponibilidade de fotoassimilados para os grãos durante o período de enchimento destes (Magalhães & Jones, 1990). Conhecer o momento em que a planta disponibiliza carboidratos, como fonte aos grãos, e as condições edafoclimáticas necessárias para que ocorra esse processo poderá auxiliar no manejo da cultura durante veranicos ou irrigação programada.

A alta variabilidade genética existente no milho tem colaborado para o desenvolvimento de genótipos adaptados às diversas condições ambientais. Carecendo assim, da identificação e seleção de genótipos com maior potencial e menor risco de exploração para os sistemas agrícolas, os quais possam estar adequados às práticas de manejo para diferentes locais de cultivo e principalmente sob condições adversas de clima (seca) (Durães, 2007). Genótipos de milho adaptados e com alto rendimento poderiam ser mais eficientes, se

atributos que conferem rendimento sob condições ambientais subótimas, como disponibilidade de água, pudessem ser identificados e utilizados como parâmetro de seleção (Durães, 2007). Desta forma é muito importante caracterizar ecofisiologicamente as mudanças ocorridas no desenvolvimento da planta de milho em função da indisponibilidade hídrica no estágio de maior exigência (Florescimento).

Este trabalho teve como objetivo geral de caracterizar as modificações ecofisiológicas na parte aérea, sistema radicular e produtividade, causados pelo déficit hídrico em genótipos de milho contrastantes para tolerância à seca.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Origem e Botânica**

O milho (*Zea mays* L.) teve sua origem compreendida em uma região conhecida hoje como sul do México e norte da Guatemala, pertencente a família Poaceae, de ciclo anual, alcançando altura média entre 1,70 e 2,50 m. Há registros do seu cultivo em altitudes que variam desde o nível do mar até 3.600 m e com temperaturas atingindo uma média noturna acima de 12,8° C e média diurna superior a 19° C (Darós, 2008).

Em relação às necessidades hídricas, é importante a distribuição regular, desde a semeadura até o ponto de maturação fisiológica dos grãos, aproximadamente 380 a 550 mm de água (Albuquerque, 2010). As fases mais críticas quanto à deficiência de água são a iniciação floral e o desenvolvimento da inflorescência além do período de fertilização e enchimento dos grãos (Darós, 2008).

### **2.2 Importância**

Provavelmente, o milho é a planta comercial mais importante com origem nas Américas e essa importância é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização. No início de seu cultivo, o milho era utilizado basicamente para a subsistência humana. Com o decorrer do tempo foi ganhando importância e transformou-se no principal insumo para a produção e alimentação animal, além de sua importância estratégica para a segurança alimentar do brasileiro ao longo das últimas décadas. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal (Duarte et al., 2008).

Apesar de não ter uma participação muito grande no uso de milho em grão, a alimentação humana, com derivados de milho, constitui fator importante de uso desse cereal em regiões de baixa renda. Em algumas situações, o milho constitui a ração diária de alimentação. Por exemplo, no Nordeste do Brasil, o milho é a fonte de energia para muitas pessoas que vivem no Semi-Árido; outro exemplo está na população mexicana, que tem no milho o ingrediente básico para sua culinária (CNA, 2018).

O milho é a segunda maior cultura de importância na produção agrícola no Brasil, sendo superado apenas pela soja que lidera a produção de grãos no país. A Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) elevou a estimativa da safra de grãos 2017/2018 para 226 milhões de toneladas, um aumento de 0,2% em relação ao último levantamento, divulgado em 02/2018 (CONAB, 2018). O milho está na história do Brasil desde os primórdios do descobrimento, sendo cultivado por tribos indígenas das regiões Centro-Oeste, e possui

tradição na culinária brasileira com pratos como a pamonha, o curau, o mingau e a pipoca, dentre outros.

O Brasil já é o segundo maior exportador mundial de milho, superado apenas pelos Estados Unidos. O produto é reconhecido por sua boa qualidade e por garantir o abastecimento em vários países exatamente no período da entressafra dos EUA. O Irã foi o maior dentre os importadores de milho do País em janeiro de 2018, somando US\$154,6 milhões de dólares. Aliás, o país aumentou 31,6% no mesmo período de 2017. A Espanha, Argélia, Malásia e Coreia do Sul completam a lista dos 5 maiores importadores de milho do Brasil neste início de 2018 (Formigoni, 2018).

### **2.3 Panorama Nacional**

No Brasil, o milho produzido se caracteriza pelo plantio realizado em duas épocas. Plantios de verão, ou primeira safra, são realizados durante período chuvoso, que varia entre fins de agosto, na região sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste. No Nordeste, esse período ocorre entre os meses de fevereiro e abril. Têm ocorrido o crescente aumento de produção na safrinha, ou segunda safra, a safrinha se refere ao milho sequeiro, plantado fora da época tradicional (primeira safra), em fevereiro ou março, em plantio sucessivo a soja precoce, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná, Minas Gerais e São Paulo (Garcia et al., 2016).

Em decorrência da concorrência com a soja, tem se verificado uma diminuição na área plantada na ocasião da primeira safra, o que tem sido parcialmente compensado pelo aumento dos plantios na safrinha. Apesar de realizados em uma condição adversa de clima, os plantios da safrinha vêm sendo conduzidos dentro de sistemas de produção adaptados a essas condições, o que tem colaborado para elevar os rendimentos das lavouras (Garcia et al., 2016).

### **2.4 Necessidade hídrica da cultura**

A necessidade hídrica da cultura do milho é regida principalmente pelas condições climáticas do local. Para se obter produção máxima de grãos, a quantidade de água consumida durante o ciclo completo da cultura (evapotranspiração acumulada) varia entre 380 a 550 mm, dependendo do clima (Albuquerque, 2010). O milho utiliza eficientemente a água em termos de produção total de matéria seca e, entre os cereais, é potencialmente a cultura de maior rendimento em grãos.

O milho é uma planta com fotossíntese C4 (mecanismo concentrador de CO<sub>2</sub>), típica

dos países quentes e desenvolveu mecanismos capazes de economizar água em tais condições. Apresenta um coeficiente hídrico muito baixo, (cerca de 300 Kg de água por um Kg de matéria seca produzida) (Magalhães et al., 2006), no entanto apresenta em seu breve ciclo, três estádios de desenvolvimento da planta, onde a água não deve faltar: a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado; b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; nessa fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico; c) enchimento de grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese. O estresse hídrico resulta em menor produção de carboidratos, isso implicaria também em menor volume de matéria seca nos grãos (Magalhães et al., 2006), sendo assim a água assume um papel determinante para a produtividade da cultura (Irritec, 2018).

A importância de suprir a necessidade da alta demanda de água e nutrientes, na fase da floração/fertilização está em função da intensa atividade fisiológica, a que a planta é submetida. O tempo nesta fase com baixa umidade é prejudicial ao processo de fecundação, porque o cabelo seca rapidamente e pode não conter umidade suficiente para suportar a germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico até o ovário (Magalhães et al., 1996). Traduzindo-se em uma redução, às vezes até total, do número de grãos por espiga. Portanto reserva-se a este período a máxima disponibilidade hídrica, a fim de evitar uma irrecuperável perda na produção.

## **2.5 Mecanismos de tolerância à seca**

As condições climáticas influenciam diretamente as atividades agrícolas, atuando no desenvolvimento e crescimento das culturas, incidindo nos níveis de produção e no que se refere aos tratos culturais. As relações intrínsecas das plantas com o meio em que se desenvolvem são determinantes em várias atividades morfológicas e fisiológicas (Martins, 2012).

A escassez de água é um dos fatores que limitam o desenvolvimento das plantas e neste sentido a importância da busca por genótipos que apresentam tolerância ao déficit hídrico ou que sejam mais eficientes no uso da água serão de grande relevância nos trabalhos de melhoramento genético (Nepomuceno et al., 2001; Martins, 2012).

Diversas linhas de pesquisa citam que a tolerância à seca pode ser analisada através de Mapeamento de QTL (Locos de Caracteres Quantitativos), dos parâmetros de prolificidade (número de espigas por planta), dicogamia (maturação dos órgãos masculino e feminino em

épocas diversa), “stay-green” refere-se à manutenção da coloração verde das plantas mesmo após o enchimento de grãos (senescência retardada) e ajustamento osmótico (Tomé, 2009).

A tolerância ao déficit hídrico, em genótipos de alta prolificidade tem sido destacada pelo amplo desenvolvimento do sistema radicular, além de maior estabilidade frente aos estresses abióticos e competições interespecíficas (Dhein et al., 2016).

O stay-green, ou senescência retardada da planta permite que esta, mantenha suas folhas e colmos verdes após o enchimento de grãos, com o aparato fotossintético ativo por um período maior. Esta capacidade beneficia o incremento de matéria seca e também por manter as atividades fotossintéticas, favorece a tolerância a ataques de pragas e doenças e principalmente, a condições de déficit hídrico (Andrade, 2012).

O intervalo maior entre o florescimento feminino e masculino é característico do estresse hídrico, isso interfere na polinização reduzindo a produtividade, por isso, preconiza-se genótipos que venham a aproximar o florescimento masculino e feminino com finalidade de melhor sincronização e conseqüentemente maior taxa de polinização (Reis et al., 2011).

O ajuste osmótico é considerado um dos mecanismos mais eficientes ao déficit hídrico, pois, assegura a capacidade fotossintética da planta e abertura estomática em condições de baixa disponibilidade hídrica, permitindo que estes sistemas funcionem, mesmo de forma reduzida (Nepomuceno et al., 2001).

Através dos trabalhos de melhoramento de plantas, obtém-se o conhecimento necessário para o desenvolvimento de cultivares adaptadas aos diversos climas e regiões do planeta, portanto, para contornar o fator da escassez hídrica, deve-se observar os vários mecanismos que trabalham de forma isolada ou em conjunto para evitar ou tolerar essa escassez (Dhein et al., 2016).

## **2.6 Aspectos ecofisiológicos influenciados pelo estresse hídrico**

A seca provoca diversas disfunções fisiológicas no milho, afetando, dentre outros, a fotossíntese. Inicialmente com a seca os estômatos fecham, ocasionando a diminuição da concentração interna de gás carbônico ( $C_i$ ), comprometendo a atividade de carboxilação da ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), pela baixa concentração de substrato ( $CO_2$ ), causando decréscimo da fotossíntese (A) (Souza et al., 2013).

Em função da intensidade do estresse hídrico, ocorre fechamento estomático por períodos prolongados, provocando redução na transpiração (E), ocasionando aumento da temperatura foliar por menor perda de calor latente (Farooq et al., 2009). Devido a este excesso de energia no aparato fotoquímico, ocorre a inibição da dissipação de energia das

clorofilas para os centros de reações, levando-as a um alto estado de excitação, seguido de fluorescência (Ghannoum et al., 2003).

Portanto as alterações no padrão das reações fotossintéticas, causadas pelo estresse hídrico, levam à formação de EROs (espécies reativas de oxigênio), as quais promovem reações oxidativas levando a destruição do fotossistema II (PSII). Assim, a relação  $F_v/F_m$  é regulada negativamente, decrescendo o fluxo de elétrons do PSII para o PSI, reduzindo a síntese de ATP (Ávila, 2015). Em adicional, a concentração de ATP em decaída, compromete a fosforização da ribulose-5-fosfato para posterior regeneração da ribulose-1,5-bifosfato, uma molécula chave para entrada de  $CO_2$  no ciclo de Calvin é afetada, levando a decréscimos na taxa fotossintética, (Flexas; Medrano, 2002; Ghannoum et al., 2003).

### **Características dos genótipos de milho em estudo**

**DKB 390:** Possui elevada tolerância a temperaturas altas e veranico, além de ampla adaptação a diferentes tipos de solo, manejos e época de plantio. Apresenta ciclo precoce (Dekalb Brasil, 2017).

**BRS 1055:** Híbrido simples de milho apresenta ciclo Precoce/Normal, foi desenvolvido para lavouras de alto/médio investimento e históricos de alta / média produtividade (Guimarães et al., 2009).

**BRS 1010:** É um híbrido simples e apresenta ciclo precoce, preferencialmente destinado a produtores de grãos que utilizam de média a alta tecnologia (Parentoni et al., 2004).

**BRS 1040:** O híbrido simples de milho BRS 1040 de ciclo semiprecoce, foi desenvolvido para lavouras de alto e/ou médio investimento e que apresentam dados históricos de alta e/ou média produtividade (Guimarães et al., 2008).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. T. **Análise genética do caráter stay green em milho utilizando o delineamento III**. 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Genética e Melhoramento de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Manejo de irrigação na cultura do milho. Embrapa Milho e Sorgo**. Sistema de Produção, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição Set./2010.

ÁVILA, R. G. **Relação entre raízes, metabolismo antioxidante e ABA na fotossíntese e produtividade do milho sob déficit hídrico**. Dissertação (Mestrado) apresentada ao Programa de Agronomia/Fisiologia Vegetal- Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG, 2015.

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil 2018. **CONAB eleva projeção de grãos para 226 milhões de toneladas**. Disponível em: <<http://www.cnabrazil.org.br/noticias/conab-eleva-projecao-de-graos-para-226-milhoes-de-toneladas>>. Acessado em: 23/03/2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 6 - Safra 2018/19 - Décimo levantamento, Brasília, p. 1-50 julho 2019.

CONAB- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Conab eleva projeção de grãos para 226 milhões de toneladas-2018**. Disponível em: <<https://monitordomercado.com.br/noticias/2363-conab-eleva-projecao-de-graos-para-226-milhoes-de-toneladas>>. Acessado em: 08/03/2018

CRUZ, J. C. et al. **Cultivo do Milho: Cultivares**. Sistemas de Produção, 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27051/1/Cultivares.pdf>

DARÓS, R. **Cultura do milho-Manual de recomendações técnicas**. Disponível em: <[http://www.agraer.ms.gov.br/wp-content/uploads/2015/05/Manual\\_de\\_recomendacoes\\_tecnicas\\_cultura\\_do\\_milho.pdf](http://www.agraer.ms.gov.br/wp-content/uploads/2015/05/Manual_de_recomendacoes_tecnicas_cultura_do_milho.pdf)>. 2008.

DEKALB BRASIL. **DKB 390 PRO3-Estabilidade produtiva em diferentes ambientes**. Disponível em: <<https://www.dekalb.com.br/pt-br/nossos-produtos/hibridos-milho/safrinha/dkb-390.html>>. Acessado em: 03/09/2019

DHEIN, M.; MÜHL, F. R.; FELDMANN, N. A.; RHODEN, A. C.; BALBINOT, M. **Fatores de tolerância a estresse hídrico em milho**. AGROTEC- 3º Simpósio de Agronomia e Tecnologia em Alimentos. 2016.

DUARTE, J. O.; MATTOSO, M. J.; GARCIA, J. C. **Importância Socioeconômica-Milho**. 2008. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_8\\_168200511157.html# 2008](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html# 2008)>. Acessado em: 23/03/2018



DURÃES, F.O.M. **Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas**. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_1/limitemilho/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/limitemilho/index.htm)>. Acesso em: 25/7/2019

FAROOQ, M. et al. Improving water relations and gas Exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. **Jounal Agronomy and Crop Science**, v. 195, n. 4, p. 262-269, 2009.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-Inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitation revisited. **Annals of botany**, v. 89, n. 2, p. 183-189, 2002.

FORMIGONI, I. **Principais importadores de milho e soja do Brasil em janeiro de 2018**. 2018. Disponível em: <<http://www.farmnews.com.br/mercado/importadores-de-milho/>> Acessado em: 23/03/2018

GARCIA, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. **Sistemas Diferenciais de Cultivo**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2016.

GHANNOUM, O. et al. Non-stomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C4 grasses. **New Phytologist**, v. 159, n. 3, p. 835-844, 2003.

GUIMARÃES, P. E. O. et al. BRS 1040 – Híbrido simples de milho. **Comunicado Técnico 161**, ISSN 1679-0162 Sete Lagoas, MG Dezembro, 2008.

GUIMARÃES, P. E. O. et al. BRS 1055 – Híbrido Simples de Milho. **Comunicado Técnico 176**, ISSN 0102-0099 Dezembro, 2009 Sete Lagoas, MG.

IRRITEC. **Irrigacao de Milho por gotejamento**. 2018. Disponível em: <<https://www.irritec.com/pt/solucoes/campo-aberto/milho/>>. Acessado em: 10/04/2018

LAVINSKY, A. O. ; MAGALHÃES, P. C. ; GOMES, M. M. D. ; GOMES JUNIOR, C. C. ; DE CASTRO, EVARISTO MAURO ; AVILA, R. G. . Root System Traits and Its Relationship with Photosynthesis and Productivity in Four Maize Genotypes under Drought. **Cereal Research Communications**, p. 1-9, 2015.

MAGALHAES, P. C.; DURAES, F.O.M.; GOMIDE, R. L. **Fisiologia da cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 1996.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da Produção de Milho**. Circular técnica, ISSN1679-1150, Sete Lagoas, MG, 2006.

MAGALHÃES, P. C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados sobre os teores de carboidratos e nitrogênio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 12, p. 1755-1761, dez. 1990.

MARTINS, A. O. **Inferências genético-fisiológicas da tolerância à seca em milho**. 2012. 122 f. Tese (Doutorado) – Curso de Genética e Melhoramento de Plantas, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.

NEPOMUCENO, A. L. et al. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. In.: **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**. KL3 Publicações.

Brasília. n. 23. p. 12-18. nov./ dez., 2001.

PARENTONI, S. N. et al. Híbrido simples de Milho BRS 1010. **Comunicado Técnico 107**, ISSN 0101-5605 Dezembro, 2004 Sete Lagoas, MG.

REIS, D. P. dos et al. **Correlações entre características de milho sob estresse hídrico. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas: Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil.** n. 6. 2011. Búzios - RJ. Anais... Búzios: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2011.

SOUZA, T. C. et al. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 11, p. 3201- 3211, 2013.

TOMÉ, L. G. O. **Análises biométricas e mapeamento de QTLs para tolerância à seca em milho.** 2009. 148 f. Tese (Doutorado) – Curso de Biologia Celular e Estrutural, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

## **4. CAPÍTULO 1**

### **4.1. CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE MILHO CONTRASTANTES À SECA E CULTIVADOS SOB DÉFICIT HÍDRICO**

## 4.2. RESUMO

Um dos fatores que mais dificultam o desempenho da produção agrícola atualmente são os estresses abióticos, dentre eles a seca. Nas regiões áridas e semiáridas, as quais se caracterizam pela escassez hídrica, onde se encontram uma das grandes áreas cultivadas do país. A alta variabilidade genética existente no milho tem colaborado para o desenvolvimento de genótipos adaptados às diversas condições ambientais. Este trabalho objetivou estudar e caracterizar as interferências e modificações ecofisiológicas que podem ser causadas pelo estresse hídrico em genótipos de milho sensíveis e tolerantes ao estresse hídrico. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com oito tratamentos nas parcelas, que constaram de quatro genótipos de milho, dois tolerantes ao estresse hídrico (DKB 390 e BRS 1055) e dois sensíveis (BRS1010 e BRS 1040), combinados com duas condições de cultivo (irrigado e estressado); três subparcelas, que corresponderam as 3 épocas de avaliações durante o período de imposição do estresse hídrico: ameno (5 dias); moderado (10 dias); severo (15 dias de estresse hídrico) e quatro repetições. O estresse hídrico foi imposto no início do florescimento, com duração de 15 dias. O esquema em parcelas subdivididas no tempo foi utilizado apenas para a avaliação das variáveis fisiológicas: eficiência máxima do fotossistema II (Fv/Fm), teor relativo de clorofila, taxa fotossintética líquida, condutância estomática, transpiração foliar. Em condição de estresse hídrico severo, os genótipos tolerantes (DKB 390 e BRS 1055) se destacaram, alcançando altas taxas fotossintéticas, quando comparados aos genótipos sensíveis. O genótipo DKB 390 foi menos afetado, quanto ao índice de clorofila avaliado, em situação de estresse hídrico moderado, demonstrando a capacidade de manutenção da pigmentação verde nos tecidos foliares, implicando maior potencial da atividade fotossintética. O estresse hídrico médio e severo, nas condições do estudo realizado, não foi suficiente para distinguir os genótipos sensíveis dos tolerantes com relação à condutância estomática e transpiração foliar. Apesar da eficiência do fotossistema II não ter sido comprometida, a capacidade fotossintética das plantas foram diretamente afetadas pela condição de seca.

Palavras-chave: *Zea mays*; Fotossíntese; Trocas gasosas.

### 4.3. ABSTRACT

One of the factors that most hinder agricultural production performance today is abiotic stress, including drought. The arid and semi-arid regions, which are characterized by water scarcity, where one of the largest cultivated areas in the country. The high genetic variability in maize has contributed to the development of genotypes adapted to different environmental conditions. Therefore, this work aimed to study and characterize the ecophysiological interferences and modifications that may be caused by water stress in sensitive and tolerant maize genotypes. The experimental design was completely randomized in a split-plot scheme, with eight treatments in the plots, consisting of four maize genotypes, two stress water-tolerant maize (DKB 390 and BRS 1055) and two sensitive (BRS1010 and BRS 1040), combined with two growing conditions (irrigated and stressed); three subplots, which corresponded to the 3 periods of evaluation during water stress imposition: mild (5 days); moderate (10 days); severe (15 days of water stress) and four repetitions. Water stress was imposed at the beginning of flowering, lasting 15 days. The scheme in time-subdivided plots was used only for the evaluation of physiological variables: maximum photosystem II efficiency ( $F_v / F_m$ ), relative chlorophyll content, net photosynthetic rate, stomatal conductance, leaf transpiration. Under severe water stress, the tolerant genotypes (DKB 390 and BRS 1055) had remarkable performance, achieving high photosynthetic rates when compared to sensitive maize genotypes. DKB 390 was less affected, considering chlorophyll index, under moderate water stress, demonstrating the ability to maintain green pigmentation in leaf tissues, implying greater potential of photosynthetic activity. Moderate and severe water stress, under the conditions of the study, was not sufficient to distinguish between sensitive and tolerant genotypes as far as stomatal conductance and leaf transpiration are concerned. Although the efficiency of photosystem II was not compromised, the photosynthetic capacity of the plants was directly affected by the drought condition.

Keywords: *Zea mays*; Photosynthesis; Gas exchange.

#### 4.4. INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira possui características em certos aspectos climáticos que são de interesse ao agronegócio, como a possibilidade de realização de duas safras no mesmo ano agrícola, primeira safra ou plantio das águas e segunda safra ou safrinha. No entanto, a safrinha é caracterizada pela escassez de chuvas e essa baixa disponibilidade hídrica tem como consequência redução na produtividade em muitos cultivos realizados (Tardin et al., 2013). Neste contexto, é importante ressaltar a capacidade de algumas plantas em tolerar esse tipo de estresse, a fim de evitar o comprometimento de lavoura em regiões do agronegócio passíveis de ocorrência.

Do ponto de vista agrônomo, o estresse é uma condição de perturbação do desenvolvimento das plantas causado pelo ambiente de produção, que resulta em redução da produtividade. Seu efeito específico sobre a produtividade das culturas depende da interação entre quatro componentes básicos: o genótipo (informações genéticas típicas de cada material), o fenótipo (características fisiológicas e morfológicas das plantas), a variabilidade dos fatores bióticos e abióticos do meio e o manejo cultural. Dentre os fatores bióticos que podem levar as plantas ao estresse, pode-se citar o ataque de pragas, doenças e plantas daninhas que causam grandes alterações nos processos fisiológicos das plantas. No entanto, os fatores que estão mais ligados à redução da produtividade da cultura do milho são os fatores abióticos relacionados ao clima (disponibilidade hídrica do solo, temperatura do ar, umidade relativa do ar e irradiação solar) (Souza & Barbosa, 2015).

Avaliações ecofisiológicas com diversos parâmetros mensurados ao mesmo tempo sob condições controladas de uma casa de vegetação, nos permite uma avaliação mais segura (Santos et al., 2014; Costa et al., 2012; Davila-Gomez et al., 2011; Farré e Faci, 2006; Mupangwa et al., 2012; Paciullo et al., 2011) do que seria o funcionamento da planta, sem a influência de diversos fatores que interferem nos resultados, além dos tratamentos impostos.

Destaca-se, ainda, que os índices fisiológicos como taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO<sub>2</sub> são afetados por fatores ambientais, como luz, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> e disponibilidade de água e nutrientes (Brito et al., 2013; Shimazaki et al., 2007; Taiz; Zeiger, 2009; Melo et al., 2010);. Assim, com base no estudo das interações desses parâmetros com os fatores ambientais, de maneira pontual sobre o estado hídrico da planta, pode-se avaliar a eficiência do crescimento e a capacidade de adaptação às condições ambientais de uma dada espécie ou variedade (Brito et al., 2013; Quiñones et al., 2005; Peixoto et al., 2006).

Desta forma, para o cultivo do milho deve-se levar em consideração, entre outros fatores, a disponibilidade hídrica durante o ciclo e a adaptabilidade do genótipo a essa condição. Isso permite que estratégias sejam constituídas para que, se possam obter rendimentos economicamente viáveis e com maior eficiência no uso da água (Brito et al., 2013). Nesse sentido, mensurar parâmetros ecofisiológicos de diferentes genótipos de milho em condições controladas permite inferir quais e quando esses parâmetros interferem no desempenho das plantas, subsidiando assim ações e tomadas de decisões quanto ao manejo cultural. A dinâmica fotossintética frente a regimes hídricos desfavoráveis é complexa, deste modo, a compreensão dos mecanismos utilizados por genótipos tolerantes a seca, na manutenção da taxa fotossintética, em condições hídricas desfavoráveis, poderá contribuir com programas de melhoramento genético (Ávila et al., 2017).

Este trabalho objetivou estudar e caracterizar as interferências e modificações ecofisiológicas que podem ser causadas pelo estresse hídrico em genótipos de milho sensíveis e tolerantes ao estresse hídrico.

#### 4.5. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação na unidade da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Milho e Sorgo em Sete Lagoas-MG, que está localizada na região central de Minas Gerais, 19° 27' 57" de latitude Sul e 44° 14' 49" de longitude Oeste, apresenta clima tropical de altitude, com verões quentes e chuvosos e invernos secos.

Foram utilizados quatro híbridos contrastantes ao estresse de seca: DKB 390 e BRS 1055 (tolerantes) BRS 1040 e BRS 1010 (sensíveis), cuja classificação para tolerância à seca já havia sido estabelecida em estudos anteriores realizados pela Embrapa / CNPMS (Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo), prevalecendo duas plantas por vaso de 20 Litros de solo cada, contendo Latossolo Vermelho Distrófico Típico. As plantas foram irrigadas conforme a necessidade hídrica da cultura, até a imposição do estresse. Com o auxílio de sensores de umidade modelo GB Reader N1535 (Measurement Engineering, Austrália), instalados no centro de cada vaso, com auxílio de um trado rosca, a uma profundidade de 20 cm. Esses sensores detectam a tensão de água no solo, com base na resistência elétrica, e são acoplados a medidores digitais. A umidade do solo foi monitorada diariamente nos períodos da manhã e da tarde (9 e 15 horas), a fim de manter a umidade do solo próxima a capacidade de campo (CC), com tensão de água no solo de  $-18$  kPa (Ávila et al., 2017). Em paralelo, foram realizados todos os tratamentos culturais e fitossanitários necessários, de acordo com a demanda da cultura do milho.

No início do florescimento, foram impostos os dois tratamentos hídricos: irrigado e estressado (supressão da irrigação durante 15 dias). No primeiro, a reposição hídrica foi realizada diariamente até o solo atingir a umidade próxima a Capacidade de Campo, enquanto no segundo tratamento foi fornecido diariamente 50% da água total disponível até a tensão de água no solo atingir, no mínimo de  $-138$  kPa (Ávila et al., 2017), a qual foi mantida por um período de quinze dias.

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições, para a avaliação das variáveis fisiológicas fluorescência máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), teor relativo de clorofila (unidades SPAD), taxa fotossintética líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e transpiração foliar ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Nas parcelas constaram os tratamentos: quatro genótipos de milho combinados com duas condições hídricas (irrigado e estressado); nas subparcelas constaram as épocas de avaliações das características fisiológicas, que corresponderam aos 3 níveis de estresse durante o período de imposição do



déficit hídrico, que foram respectivamente: 5 dias (ameno); 10 dias (moderado) e 15 dias de estresse hídrico (severo).

Na avaliação das variáveis potencial hídrico foliar  $\Psi_w$  (MPa) e área foliar ( $\text{cm}^2$ ) foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (4x2), com quatro repetições. Sendo os fatores, quatro genótipos de milho combinados com duas condições hídricas (irrigado e estressado).

#### **4.5.1. Avaliações Ecofisiológicas**

i. Teor relativo de clorofila (unidades SPAD): medido através de um clorofilômetro, Soil plant analysis development (SPAD) (Minolta SPAD 502 Osaka, Japan), se trata de um medidor portátil, que se baseia em leituras ópticas não destrutivas, baseadas na absorvância e/ou refletância da luz pelas folhas. Para a determinação do índice de clorofila, foram utilizadas a média de 5 leituras em cada folha, por planta, correspondentes as da inserção da espiga, no terço médio do limbo foliar.

ii. A eficiência máxima do fotossistema II: foi avaliada por meio da relação da fluorescência variável/fluorescência máxima ( $F_v/F_m$ ), utilizando-se um fluorímetro portátil, Pocket PEA chlorophyll fluorimeter (Hansatech United Kingdom). Para tanto, as folhas correspondentes as da inserção da espiga, foram adaptadas ao escuro com o uso de pinças durante 30 minutos, desta forma todos os centros de reações adquirem a condição de abertos. Nesta condição foi possível obter as medidas de fluorescência inicial ( $F_0$ ), e fluorescência máxima ( $F_m$ ).

iii. Avaliação das trocas gasosas: foi utilizado o analisador de gás infravermelho, modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA), e as avaliações foram realizadas em folhas correspondentes as da inserção da espiga. Foram obtidas as medidas de:

- a) Taxa fotossintética líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );
- b) Condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );
- c) Transpiração ( $E$   $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );

iv. A área foliar ( $\text{cm}^2$ ): foi obtida por meio de um leitor de área foliar do tipo esteira (LI-3100C, Nebraska, USA), sendo utilizadas todas as folhas fotossinteticamente ativas, retiradas das duas plantas presentes no vaso.

v. O potencial hídrico foliar  $\Psi_w$  (MPa): foi determinado utilizando-se uma bomba de

pressão tipo Scholander, para isso, foi feito o corte de uma folha completamente expandida e com bom estado fitossanitário, depositada na câmara da bomba de pressão, onde, em seguida, é aplicada pressão até ocorrer a exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha, para a leitura da pressão aplicada (Turner, 1981) citado por Gonçalves et al. (2009).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) com auxílio do software estatístico Sisvar versão 5.6. (Ferreira, 2011). Quando verificado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

#### **4.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nas avaliações fisiológicas (Tabela 1) realizadas: teor relativo de clorofila em unidade SPAD, taxa fotossintética líquida ( $A \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração ( $E \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e condutância estomática ( $g_s, \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), houve influência das três fontes de variação analisadas individualmente, em interações duplas e triplas. Contudo, para a eficiência máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), não se observou interação significativa entre genótipo e época; genótipo e condição; genótipo, condição e época.

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância para as variáveis fisiológicas em quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 - sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo (Irrigado e estressado) e avaliados em três épocas (esquema de parcelas subdivididas no tempo). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

F	GL	QM				
		Teor Relativo de Clorofila	Eficiência Máxima do Fotossistema II	Taxa Fotossintética	Transpiração	Condutância Estomática
COND	1	716,133**	0,025**	9869,46**	225,23**	0,91**
GEN	3	32,658**	0,0014**	38,32**	3,08**	0,02**
COND * GEN	3	12,390*	0,0004 ns	158,11**	13,95**	0,03**
ERRO 1	24	3,426	0,0002	4,59	9,15	0,003
ÉPOCA	2	73,081**	0,0019**	798,48**	26,59**	0,06**
COND * ÉPOCA	2	161,191**	0,0092**	358,25**	6,64**	0,01**
GEN * ÉPOCA	6	33,058**	0,0001 ns	69,13**	12,9**	0,01**
COND * GEN * ÉPOCA	6	11,241**	0,0002 ns	45,34**	15,51**	0,02**
ERRO 2	48	1,899	0,0001	2,96	6,03	0,001
TOTAL	95					
CV 1 (%)		3,77	1,81	11,5	20,1	29,8
CV 2 (%)		2,81	1,43	9,23	11,54	17,74
MÉDIA		49,08	0,81	18,63	3,07	0,18

FV- Fontes de variação; GL- Graus de liberdade; CV- Coeficientes de variação; ns- não significativo; QM- Quadrado médio; COND- Condições de cultivo; GEN- Genótipos; \*\*- Significativo a 1% pelo teste F.

Para o potencial hídrico foliar (MPa), assim como para a área foliar (cm<sup>2</sup>) (Tabela 2), houve influência das fontes de variação analisadas individualmente e em interações duplas.

**Tabela 2** - Resumo da análise de variância para as variáveis potencial hídrico e área foliar em quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 – tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 - sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo (Irrigado e estressado). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

FV	GL	QM	
		Potencial Hídrico	Área foliar
COND	1	856,98**	48326787,44**
GEN	3	856,98**	5644498,00**
COND * GEN	3	6,00*	1542099,41*
ERRO	24	1,64	463347,76
TOTAL	31		
CV (%)		7,97	7,3
MÉDIA		-16,08	9327,85

FV- Fontes de variação; GL- Graus de liberdade; CV- Coeficientes de variação; ns- não significativo; QM- Quadrado médio; COND- Condições de cultivo; GEN- Genótipos; \*\* - Significativo a 1% pelo teste F.

O genótipo BRS 1040 em regime hídrico estressado, foi o mais afetado para a característica teor médio relativo de clorofila, quando em estresse severo (Tabela 3). O BRS 1055 quando em estresse ameno, foi semelhante ao BRS 1010 e o BRS 1040, apresentando maiores índices de clorofila. Na condição estressada o DKB 390 foi o genótipo menos afetado quando em estresse moderado, demonstrando a capacidade de manutenção da pigmentação verde nos tecidos foliares (pressupondo maior potencial da atividade fotossintética) em decorrência de estresse hídrico. É notável que o estresse hídrico afeta negativamente, e de forma mais rigorosa, os genótipos sensíveis que declinam na habilidade de manterem os tores de clorofila, afetando o processo fotossintético.

Segundo Muchow e Sinclair (1994) o retardamento na senescência foliar nas populações tolerantes à seca aumentam a produção de carboidratos devido a maior interceptação da luz solar, e também à absorção de uma maior fração da energia luminosa incidente.

Os resultados encontrados no presente trabalho corroboram com Silva et al. (2014) que trabalhando com cultivares de cana em duas condições de regimes hídricos (sem deficiência hídrica e com deficiência hídrica por 67 dias), e avaliações realizadas em três épocas, aos 0, 35 e 67 dias após o início dos tratamentos, indicaram que quando o número de dias de estresse hídrico aumentou, houve reduções significativas nos teores relativos de clorofila.

**Tabela 3.** Teor médio relativo de clorofila, em unidades SPAD, de quatro genótipos de milho (tolerantes e sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo e avaliado em três épocas. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

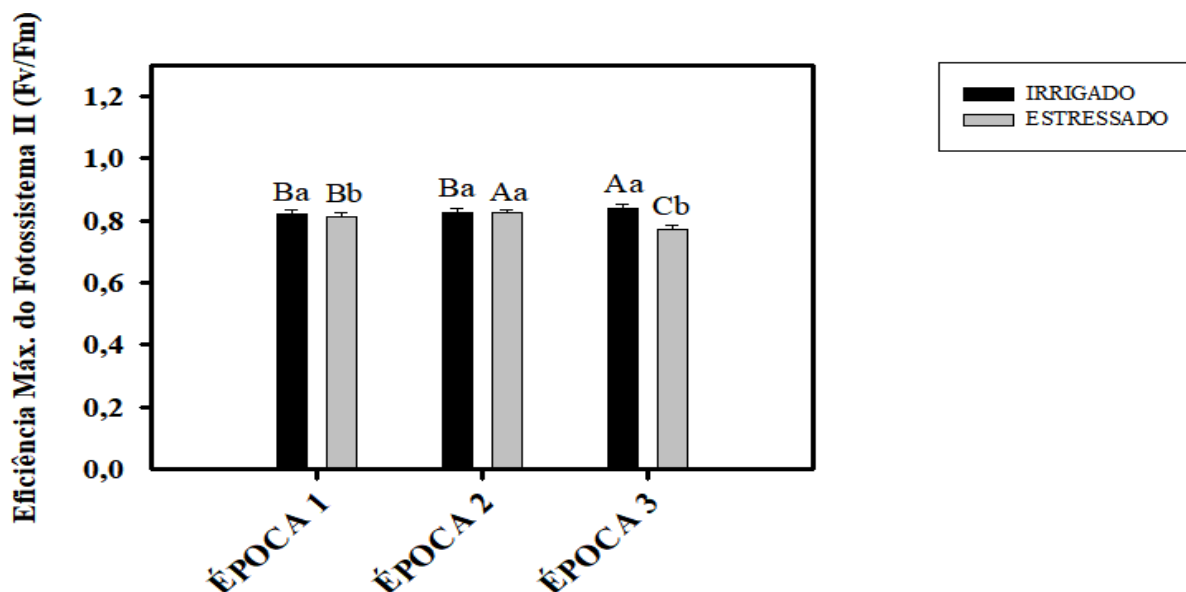
CONDIÇÃO DE CULTIVO	GENÓTIPOS	Épocas de Avaliações		
		1	2	3
IRRIGADO	BRS 1040 <sup>1</sup>	52,72 Aa $\alpha$	49,42 Bb $\alpha$	49,27 Bb $\alpha$
	BRS 1010 <sup>1</sup>	49,77 Cb $\alpha$	53,47 Ba $\alpha$	56,27 Aa $\alpha$
	DKB 390 <sup>2</sup>	50,60 Bab $\alpha$	51,42 Bab $\alpha$	55,00 Aa $\alpha$
	BRS 1055 <sup>2</sup>	52,30 Aab $\alpha$	51,37Aab $\alpha$	50,07 Ab $\alpha$
		<b>Severo</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>
ESTRESSADO	BRS 1040	48,75 Aab $\beta$	46,32 Ab $\beta$	38,57 Bb $\beta$
	BRS 1010	48,35 Aab $\alpha$	46,27Ab $\beta$	43,17 Ba $\beta$
	DKB 390	47,27 Bb $\beta$	52,57 Aa $\alpha$	44,32 Ca $\beta$
	BRS 1055	50,30 Aa $\alpha$	48,55 Ab $\beta$	41,97 Ba $\beta$

<sup>1</sup>- Sensível; <sup>2</sup>- Tolerante; Épocas de Avaliações 1, 2 e 3 referem-se ao estresse hídrico Ameno, Moderado e Severo (5, 10 e 15 dias de estresse hídrico) respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas denotam comparações entre épocas dentro do mesmo genótipo e condição de cultivo, letras minúsculas denotam comparações entre os genótipos dentro de cada condição de cultivo e época e letras gregas comparam condições de cultivo dentro do mesmo genótipo em cada época.

A condição irrigada resultou em plantas com maior eficiência fotoquímica, sendo que na segunda época as duas condições foram semelhantes (Figura 1). Dentre os genótipos estudados (Tabela 4), o BRS 1040 (sensível), semelhante ao BRS 1055 (tolerante) apresentaram menor eficiência do fotossistema II. Os demais genótipos foram estatisticamente semelhantes e apresentaram valores superiores. O estresse hídrico severo provocou uma redução significativa na atividade do fotossistema II (0,77) (Figura 1), quando comparado às demais épocas de avaliações. No entanto, valores acima de 0,70 demonstram que as plantas não estão sofrendo danos no fotossistema (Chaves et al., 2002).

A relação entre a fluorescência variável e a máxima (Fv/Fm) é uma medida da eficácia dos centros de reação no uso dos fótons capturados em reações fotoquímicas do fotossistema II (PSII), sendo assim, fatores de estresse que comprometem o funcionamento do PSII, reduzem o valor de Fv/Fm (Chaves et al., 2002). Sabendo-se que o fotossistema II é responsável pelo provimento de energia para o processo fotossintético, a estimativa de sua eficiência pode ser uma referência quanto ao nível de tolerância em plantas sob estresse de seca (Magalhães et al., 2009).



**Figura 1.** Médias de Eficiência máxima do fotossistema II (Fv/Fm) obtidas em três épocas (1, 2 e 3 referentes a estresse hídrico Ameno, Médio e Severo, ou seja duração de 5, 10 e 15 dias, respectivamente), sob duas condições de cultivo, considerando quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 – tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 - sensíveis a déficit hídrico). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para época e minúscula para condição de cultivo não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Médias de Eficiência máxima do fotossistema II (Fv/Fm) obtidas em quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 – tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 - sensíveis a déficit hídrico). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

GENÓTIPOS	MÉDIAS
BRS 1040	0.80 b
BRS 1010	0.82 a
DKB 390	0.82 a
BRS 1055	0.81 ab

Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação a A (taxa fotossintética líquida) (Tabela 5), o genótipo BRS 1010 (sensível) quando irrigado apresentou maiores taxas comparado aos demais genótipos, nas épocas 1 e 3, sendo que na época 2 não houve diferença entre os genótipos. Em condição de estresse hídrico o genótipo DKB 390 (tolerante) se destacou, alcançando altas taxas fotossintéticas, quando em estresse ameno e severo (neste último, ele foi semelhante

estatisticamente ao BRS 1055, também tolerante). No estresse moderado os genótipos não diferiram. A taxa fotossintética líquida diferiu estatisticamente de forma positiva para todos os genótipos irrigados, quando comparado aos estressados.

Neste trabalho, em regime hídrico do solo considerado estressado, os valores de A (taxa fotossintética líquida) foram reduzidos, sendo que os genótipos considerados tolerantes alcançaram valores superiores. Para todos os genótipos estudados, a resposta do teor relativo de clorofila (intensidade de verde) foi semelhante à resposta de A (taxa fotossintética líquida). Sendo que os menores valores de A corresponderam a menores valores de Intensidade de verde em unidades SPAD. Isso demonstra que, possivelmente, o estresse hídrico, causou decréscimo na concentração de clorofilas, o que demonstra a ação desses pigmentos na fase fotoquímica (captura e uso da luz), também pode ter colaborado para a redução da taxa fotossintética líquida.

O déficit hídrico causa várias reações na planta, diminuindo seu status hídrico (potencial hídrico), danificando e alterando seus fotossistemas e aumentando as espécies reativas de oxigênio (ERO), causando degradação das membranas lipídicas (Rabelo et al., 2019). Em plantas de milho tolerantes ao déficit hídrico, uma das respostas fisiológicas a essa exposição é a ativação do sistema antioxidante enzimático para eliminar a ERO. No entanto, genótipos de milho sensíveis tendem a não exibir essa capacidade de eliminar a ERO, além de apresentar baixas taxas fotossintéticas quando expostos a estresse prolongado (Rabelo et al., 2019).

Em estudo realizado por Martins (2012) também comparando linhagens de milho contrastantes quanto a tolerância à seca em estresse hídrico, observou-se valores superiores de taxa fotossintética para as linhagens consideradas tolerantes.



**Tabela 5.** Média da Taxa fotossintética líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) obtida em quatro genótipos de milho (tolerantes e sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo, e avaliados em três épocas. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

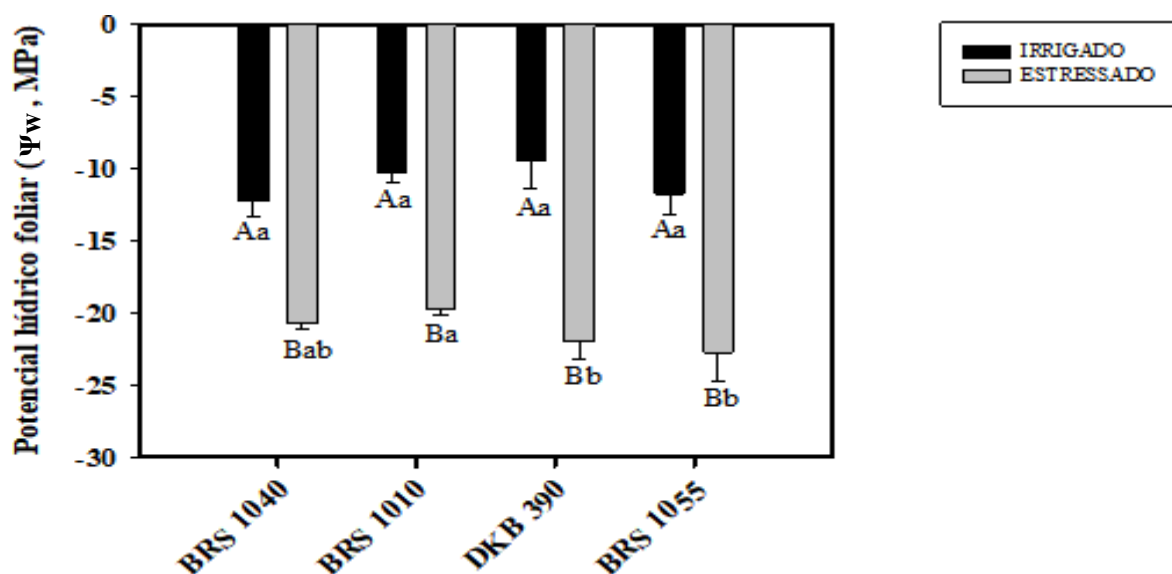
CONDIÇÃO DE CULTIVO	GENÓTIPOS	ÉPOCAS DE AVALIAÇÕES		
		1	2	3
IRRIGADO	BRS 1040 <sup>1</sup>	29,91 Ab $\alpha$	31,23 Aa $\alpha$	16,88 Bc $\alpha$
	BRS 1010 <sup>1</sup>	39,21 Aa $\alpha$	30,76 Ba $\alpha$	26,74 Ca $\alpha$
	DKB 390 <sup>2</sup>	32,38 Ab $\alpha$	32,11 Aa $\alpha$	18,02 Bc $\alpha$
	BRS 1055 <sup>2</sup>	31,87 Ab $\alpha$	33,95 Aa $\alpha$	22,15 Bb $\alpha$
		<b>Ameno</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>
ESTRESSADO	BRS 1040	18,44 Ab $\beta$	6,26 Ba $\beta$	3,49 Bc $\beta$
	BRS 1010	11,33 Ac $\beta$	3,11 Ba $\beta$	5,88 Bcb $\beta$
	DKB 390	22,21 Aa $\beta$	4,56 Ca $\beta$	10,18 Ba $\beta$
	BRS 1055	4,99 Ad $\beta$	4,19 Aa $\beta$	7,22 Aba $\beta$

<sup>1</sup>- Sensível; <sup>2</sup>- Tolerante; Épocas de Avaliações 1, 2 e 3 referem-se ao estresse hídrico Ameno, Moderado e Severo (5, 10 e 15 dias de estresse hídrico) respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas denotam comparações entre épocas dentro do mesmo genótipo e condição de cultivo, letras minúsculas denotam comparações entre os genótipos dentro de cada condição de cultivo e época e letras gregas comparam condições de cultivo dentro do mesmo genótipo em cada época.

Em relação ao potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foliar (Figura 2), observa-se que a condição estressada promoveu para todos os genótipos a redução deste, em relação à condição irrigada. Sendo que os genótipos BRS 1055, DKB 390 e BRS 1040 apresentaram menor potencial (valores mais negativos) em relação ao genótipo BRS 1010. Magalhães et al. (2016) em estudo realizado com linhagens de sorgo contrastantes para tolerância à seca, encontraram respostas semelhantes, no qual o estresse hídrico resultou em menor potencial hídrico foliar (valores mais negativos), comparado ao tratamento irrigado. O potencial da água na folha foi sensivelmente menor em plantas estressadas, do que em plantas irrigadas, mostrando assim, ser um bom indicador de déficit hídrico.

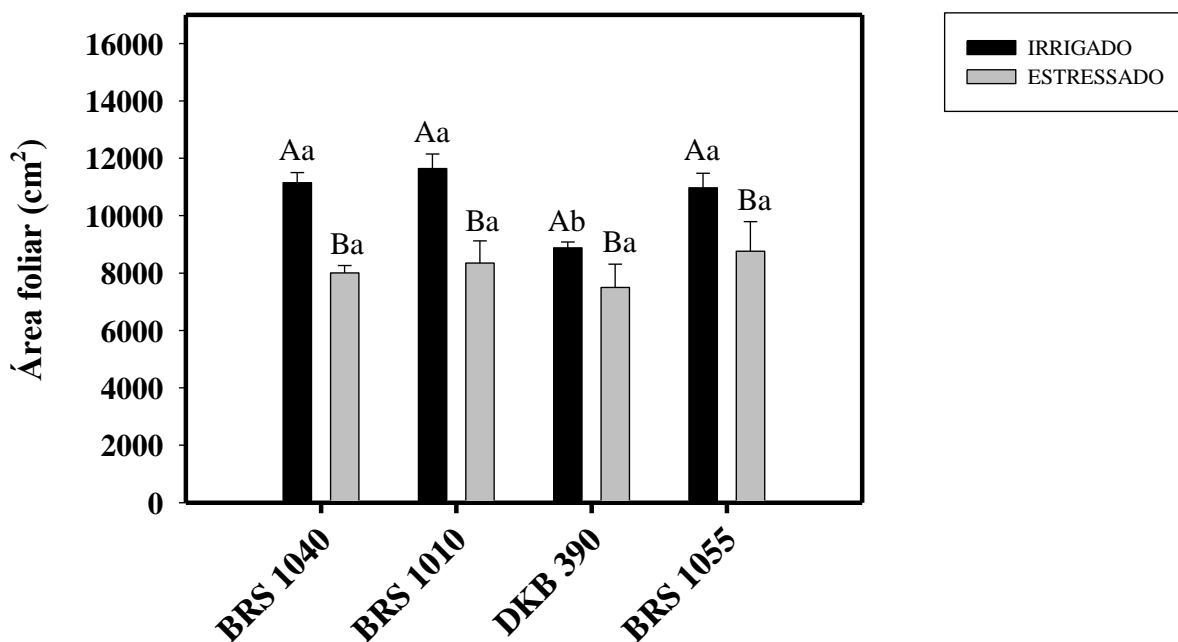
Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico declinam na manutenção do turgor nas células e na continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese (Bergonci et al., 2000). Desta forma é possível verificar a relação da redução do potencial hídrico foliar das plantas estressadas e o declínio da taxa fotossintética líquida observada neste estudo, que também foi reduzida nestas plantas. Em função da perda de turgor das células guardadas, há o fechamento estomático que impede a difusão de  $\text{CO}_2$  para o interior das células.



**Figura 2.** Médias do Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ , MPa), obtidas em quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 – tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 - sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo (Irrigado e estressado).

Médias seguidas da mesma letra maiúscula para condição de cultivo e minúsculas para genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A respeito da área foliar (Figura 3), assim como para o potencial hídrico foliar, ocorreu também a redução desta, na condição estressada em todos os genótipos. Não houve diferença entre os genótipos estressados. Semelhante ao resultado encontrado neste trabalho, Ávila et al. (2017) não verificaram reduções significativas dos valores de área foliar nos genótipos tolerantes, com a exposição ao déficit hídrico. O déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas, principalmente reduzindo a área foliar, diminuindo a área fotossinteticamente ativa (Gomes et al., 2018). Ainda segundo Taiz; Zeiger (2009) a resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico, consiste no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento estomático, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas. Estes parâmetros estão diretamente relacionados à capacidade fotossintética da planta, logo deve-se levar em consideração que a redução na capacidade de funcionamento fisiológico destes, acarreta também, no funcionamento fotossintético menor, como visto neste trabalho.



**Figura 3.** Médias da Área foliar (cm<sup>2</sup>), obtidas em quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 – tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 - sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo (Irrigado e estressado).

Médias seguidas da mesma letra maiúscula para condição de cultivo e minúsculas para genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A transpiração foliar (Tabela 6) foi significativamente menor para todos os genótipos estudados quando cultivados em condição de estresse. Isso porque, quando ocorre a redução do potencial de água do solo, a planta gera um sinal hormonal para as folhas via ácido abscísico (ABA) pela corrente transpiratória, levando ao fechamento dos estômatos, de modo a reduzir a perda de água através da transpiração (Souza & Barbosa, 2015). Resultado semelhante foi encontrado por Wu et al. (2011), estudando o crescimento e a transpiração do milho cultivado em vasos sob deficiência hídrica, onde ocorreu redução na transpiração, quando a umidade do solo foi inferior a 90% da capacidade de campo.

Em condição de cultivo estressado o genótipo tolerante DKB 390 apresentou maior taxa transpiratória, semelhante ao BRS 1040, quando estes se encontravam em estado de estresse ameno. Pode se inferir que os dois genótipos, embora seja um tolerante e outro sensível, tenham alcançado aumento da transpiração, em função do nível de estresse imposto (ameno). Em tal estado, ainda com suprimento hídrico no solo, é vantajoso para a planta trocar a água por produtos da fotossíntese, essenciais para o crescimento e a reprodução (Taiz & Zeiger, 2009). Quando em estresse moderado e severo, não houve diferença significativa

entre os genótipos.

**Tabela 6.** Médias da Transpiração foliar ( $E$  mmol  $H_2O$   $m^{-2}$   $s^{-1}$ ), obtidas em quatro genótipos de milho (tolerantes e sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo e avaliados em três épocas. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

CONDIÇÃO DE CULTIVO	GENÓTIPOS	ÉPOCAS DE AVALIAÇÕES		
		1	2	3
IRRIGADO	BRS 1040 <sup>1</sup>	4,30 Bb $\alpha$	5,44 Aa $\alpha$	4,50 Bb $\alpha$
	BRS 1010 <sup>1</sup>	6,99 Aa $\alpha$	3,71 Cb $\alpha$	6,07 Ba $\alpha$
	DKB 390 <sup>2</sup>	4,27 Ab $\alpha$	3,64 Ab $\alpha$	3,75 Ab $\alpha$
	BRS 1055 <sup>2</sup>	4,28 Ab $\alpha$	3,89 Ab $\alpha$	4,43 Ab $\alpha$
		<b>Ameno</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>
ESTRESSADO	BRS 1040	2,28 Aab $\beta$	0,54 Ba $\beta$	1,96 Aa $\beta$
	BRS 1010	1,56 Abc $\beta$	0,55 Ba $\beta$	2,27 Aa $\beta$
	DKB 390	2,71 Aa $\beta$	0,44 Ba $\beta$	2,56 Aa $\beta$
	BRS 1055	0,80 Bc $\beta$	0,43 Ba $\beta$	2,37 Aa $\beta$

<sup>1</sup>- Sensível; <sup>2</sup>- Tolerante; Épocas de Avaliações 1, 2 e 3 referem-se ao estresse hídrico Ameno, Moderado e Severo (5, 10 e 15 dias de estresse hídrico) respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas denotam comparações entre épocas dentro do mesmo genótipo e condição de cultivo, letras minúsculas denotam comparações entre os genótipos dentro de cada condição de cultivo e época e letras gregas comparam condições de cultivo dentro do mesmo genótipo em cada época.

A condição de cultivo estressado apresentou menor condutância estomática (gs) (Tabela 7), para todos os genótipos avaliados e em todas as épocas, em relação ao cultivo irrigado. De maneira semelhante, Brito et al. (2013) obtiveram menor condutância estomática em plantas de milho doce sob estresse hídrico. O genótipo tolerante BRS 1055 apresentou menor média de gs, em condição estressada na época 1 (ameno), semelhante ao BRS 1010. Pode se inferir que a obtenção deste resultado foi em função do estresse ameno, em que tais genótipos ainda se encontravam, apresentando comportamento preventivo para minimizar a perda de água e manter a turgescência, através dessa tendência em fechar os estômatos. Fato este, que reflete também na transpiração e aporte de  $CO_2$ , logo na capacidade fotossintética, formação de carboidratos e no acúmulo em fitomassa na planta.

**Tabela 7.** Médias da Condutância estomática (gs, mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), obtidas em quatro genótipos de milho (tolerantes e sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo e avaliados em três épocas. UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

CONDIÇÃO DE CULTIVO	GENÓTIPOS	ÉPOCAS DE AVALIAÇÕES		
		1	2	3
IRRIGADO	BRS 1040 <sup>1</sup>	0,262 Bbα	0,374 Aaα	0,264 Bbα
	BRS 1010 <sup>1</sup>	0,501 Aaα	0,211 Cbα	0,383 Baα
	DKB 390 <sup>2</sup>	0,251 Abα	0,194 Abα	0,210 Abα
	BRS 1055 <sup>2</sup>	0,260 Abα	0,216 Abα	0,254 Abα
		<b>Ameno</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>
ESTRESSADO	BRS 1040	0,138 Aaβ	0,027 Baβ	0,111 Aaβ
	BRS 1010	0,088 ABabβ	0,027 Baβ	0,127 Aaβ
	DKB 390	0,160 Aaβ	0,022 Baβ	0,150 Aaβ
	BRS 1055	0,046 Bbβ	0,021 Baβ	0,132 Aaβ

<sup>1</sup>- Sensível; <sup>2</sup>- Tolerante; Épocas de Avaliações 1, 2 e 3 referem-se ao estresse hídrico Ameno, Moderado e Severo (5, 10 e 15 dias de estresse hídrico) respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas denotam comparações entre épocas dentro do mesmo genótipo e condição de cultivo, letras minúsculas denotam comparações entre os genótipos dentro de cada condição de cultivo e época e letras gregas comparam condições de cultivo dentro do mesmo genótipo em cada época.

#### **4.7. CONCLUSÕES**

Apesar da eficiência do fotossistema II não ter sido comprometida, a capacidade fotossintética das plantas foram diretamente afetadas pela condição de seca.

Em condição de estresse hídrico severo, os genótipos tolerantes (DKB 390 e BRS 1055) se destacaram, alcançando altas taxas fotossintéticas, quando comparados aos genótipos sensíveis.

O genótipo DKB 390 foi menos afetado, quanto ao índice de clorofila avaliado, em situação de estresse hídrico moderado, demonstrando a capacidade de manutenção da pigmentação verde nos tecidos foliares, implicando maior potencial da atividade fotossintética.

O estresse hídrico moderado e severo, nas condições do estudo realizado, não foi suficiente para distinguir os genótipos sensíveis dos tolerantes com relação à condutância estomática e transpiração foliar.

#### 4.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVILA, R. G.; MAGALHÃES, P. C.; & ALVARENGA, A. A.; LAVINSKY, A. O.; CAMPOS, C. N.; GOMES JÚNIOR, C. C.; SOUZA, T. DROUGHT-TOLERANT MAIZE GENOTYPES INVEST IN ROOT SYSTEM AND MAINTAIN HIGH HARVEST INDEX DURING WATER STRESS. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v. 15, p. 450-460, 2017.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; SANTOS, O. S. **Potencial da água na folha como indicador de déficit hídrico em milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.8, p.1531-1540, 2000.
- BRITO, M. E. B., ARAÚJO FILHO, G. D. DE, WANDERLEY, J. A. C., MELO, A. S. DE, COSTA, F. B. DA, & FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, 29(5), 2013.
- CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIQUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSORIO, M. L.; CARVATHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, London, v.89, p.907–916, 2002.
- COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R.D.A.; PARIZ, C.M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1038-1047, 2012.
- DAVILA-GOMEZ, F.J.; CHUCK-HERNANDEZ, C.; PEREZCARRILLO, E.; ROONEY, W.L.; SERNA-SALDIVAR, S.O. Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor* (L) Moench). **Industrial Crops and Products**, v.33, p.611-616, 2011.
- FARRÉ, I.; FACI, J.M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v.83, p.135-143, 2006.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- GOMES, C. A.; ASSIS, A. C. L. P.; ALVES, D. P.; REIS, M. R. Aplicação de ácido salicílico como atenuador dos efeitos de deficit hídrico no milho. **The Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC**, Vol. 04 N. 03 (2018).
- GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.1, p.8-14, jan. 2009.
- MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; KARAM, D.; MAGALHÃES, M. M.; CANTÃO, F. R. O. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.3, p. 223-232, 2009.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. ; LAVINSKY, A. O. ; ALBUQUERQUE, P. E. P. ; Lino, L. O. ; DE CASTRO, EVARISTO MAURO . Phenotypic plasticity of root system and shoots of Sorghum bicolor under different soil water levels during pre-flowering stage. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 81-87, 2016.

MARTINS, A. O. **Inferências genético-fisiológicas da tolerância à seca em milho**. 2012. 122 f. Tese (Doutorado) – Curso de Genética e Melhoramento de Plantas, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.

MELO, A. S. de.; FERNANDES, P. D.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. Crescimento, produção de biomassa e eficiência fotossintética da bananeira sob fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 417-426, 2010.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field grow maize and sorghum. **Crop Science**. v.34, p.721-727, 1994.

MUPANGWA, W.; TWOMLOW, S.; WALKER, S. Reduced tillage, mulching and rotational effects on maize (*Zea mays* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* (Walp) L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) yields under semi-arid conditions. **Field Crops Research**, v.132, p.139-148, 2012.

PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.D.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.D.F.Á.; MÜLLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v.141, p.166-172, 2011.

PEIXOTO, C. P. CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T. de; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S. A.; OLIVEIRA, J. G. de. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 439-443, 2006.

QUIÑONES, A.; BAÑULS, J.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. Recovery of the 15N-labelled fertiliser in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. **Plant and Soil**, Crawley, v. 268, n. 1, p. 367–376, 2005.

RABELO, V. M. ; MAGALHÃES, P. C. ; BRESSAIN, L. A. ; CARVALHO, DIOGO TEIXEIRA ; DOS REIS, CAROLINE OLIVEIRA ; Karam, D. ; Doriguetto, A. C. ; dos Santos, M. H. ; Santos Filho, P. R ; Souza, T. C. . The foliar application of a mixture of semisynthetic chitosan derivatives induces tolerance to water deficit in maize, improving the antioxidant system and increasing photosynthesis and grain yield. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1-13, 2019.

SANTOS, O. O.; FALCÃO, H.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; LUSTOSA, B. M.; SANTOS, M. G. Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p.203-212, 2014.



SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, n. 1, p. 219-247, 2007.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; VITORINO, H. S.; RHEIN, A. F. L. Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 173-181, Jan./Feb. 2014.

SOUZA, G. M.; BARBOSA, A. M. **Fatores de estresse no milho são diversos e exigem monitoramento constante.** FISILOGIA-visão agrícola nº13 jul | dez 2015.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 4.ed. Porto Alegre: E.Atmed, 2009. 819 p.

TARDIN, F. D.; ALMEIDA FILHO, J. E.; OLIVEIRA, C. M.; LEITE, C. E. P.; MENEZES, C. B.; MAGALHÃES, P. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.2, p. 102-117, 2013.

TURNER, N.C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v.58, p.339-366, 1981.

WU, Y.; HUANG, M.; WARRINGTON, D.N. Growth and transpiration of maize and winter wheat in response to water deficits in pots and plots. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 71, n. 1, p. 65–71, 2011.

## **5. CAPÍTULO 2**

### **5.1. RESPOSTAS DE VARIÁVEIS AGRONÔMICAS E RADICULARES DE GENÓTIPOS DE MILHO CONTRASTANTES À SECA E CULTIVADO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

## 5.2. RESUMO

A ocorrência do que é conhecido como estresse abiótico, se dá no momento em que os fatores ambientais sofrem mudanças capazes de comprometer as condições consideradas ideais para o cultivo de plantas, levando-as a um desprendimento extremo para suprir suas demandas energéticas. Atualmente, entre outras variáveis ambientais com maior potencial para causar estresse em milho, está a indisponibilidade de água no solo, causando o estresse hídrico. Este estudo teve como objetivo caracterizar as mudanças morfométricas do sistema radicular e dos aspectos agronômicos, relacionados a produtividade dos genótipos de milho cultivados sob estresse hídrico. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo 4x2, que constaram de quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 tolerantes ao estresse hídrico e BRS 1040, BRS 1010 sensíveis), combinados com duas condições de cultivo (irrigado e estressado) e quatro repetições. No início do florescimento, foram impostos dois tratamentos hídricos: irrigado e estressado (supressão da irrigação durante 15 dias). Foram mensurados: Altura de plantas; Altura da inserção de espiga; Diâmetro do colmo; Massa seca das plantas; Número de espigas; Massa de espigas; Comprimento de espiga; Diâmetro de espiga; Número de fileiras por espiga; Número de grãos por fileira; Massa de 100 grãos; Massa total de grãos. Características de raiz analisadas foram: área de superfície de raiz (cm<sup>2</sup>), volume de raiz (cm<sup>3</sup>) e comprimento de raiz por classe de diâmetro (cm). A produção de grãos do DKB 390 sobressaiu-se sobre os demais genótipos sensíveis estudados bem como superando o genótipo também tolerante BRS 1055. Sob estresse hídrico as plantas de milho tiveram maior desenvolvimento radicular comparado às plantas cultivadas em sistema irrigado. Os genótipos BRS 1055 e BRS 1010 alcançaram melhor desenvolvimento do sistema radicular sob cultivo estressado, no entanto, a produção de grãos não foi correlacionada com tal característica.

Palavras-chave: *Zea mays*; Produção; Raízes.

### 5.3. ABSTRACT

Abiotic stress occurs when environmental factors undergo changes capable of compromising the conditions considered ideal for the cultivation of plants, leading them to an extreme detachment to meet their energy demands. Currently, among other environmental variables with higher potential to cause stress in maize, there is unavailability of water in the soil, which causes water stress. This study aimed to characterize the morphometric changes of the root system and agronomic aspects related to the yield of corn genotypes cultivated under water stress. The experimental design was completely randomized in a 4x2 double factorial scheme, consisting of four maize genotypes (DKB 390, BRS 1055 tolerant to water stress and BRS 1040, BRS 1010 sensitive), combined with two cultivation conditions (irrigated and stressed) and four repetitions. At the beginning of flowering, two water treatments were imposed: irrigated and stressed (suppression of irrigation for 15 days). The following characteristics were measured: plant height; Ear insertion height; Stem diameter; Mass dried plants; Number of ears; Ear mass; Ear length; Ear diameter; Number of rows per ear; Number of grains per row; 100 grain mass; Total mass of grains. The following root characteristics were analyzed: root surface area (cm<sup>2</sup>), root volume (cm<sup>3</sup>) and root length by diameter class (cm). DKB 390 grain yield stood out above the other sensitive genotypes as well as overcoming the tolerant genotype BRS 1055. Under water stress maize plants had better root development compared to plants grown under irrigated system. The genotypes BRS 1055 and BRS 1010 achieved better root system development under stressed cultivation. However, grain yield was not correlated with this characteristic.

Keywords: *Zea mays*; Production; Roots.

## 5.4. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, têm acontecido eventos climáticos extremos, com mais frequência e de maior intensidade relacionados ao frio, calor e seca, sobretudo em regiões de cultivos em larga escala, com uso extensivo de área e grande produção de alimentos no mundo. Em função desse clima adverso, o potencial produtivo das lavouras pode ser drasticamente reduzido e, por conseguinte, comprometer a disponibilidade de alimentos no mundo, sendo o milho um dos principais cereais utilizados na alimentação humana e animal, alcançando no Brasil uma produtividade média de 5,2 t há<sup>-1</sup> (CONAB, 2019).

A ocorrência do que é conhecido como estresse abiótico, se dá no momento em que os fatores ambientais sofrem mudanças capazes de comprometer as condições consideradas ideais para o cultivo de plantas, levando-as a um desprendimento extremo para suprir suas demandas energéticas. Estresses abióticos podem ser definidos como condições ambientais que restringem o crescimento e rendimento abaixo dos níveis ótimos (Sousa et al., 2017).

Atualmente, entre outras variáveis ambientais com maior potencial para causar estresse em milho, está a indisponibilidade de água no solo, causando o estresse hídrico. Para lidar com as situações decorrentes dos diversos tipos de estresse que afetam as plantas, estas são capazes de desencadear vários mecanismos que trabalham em todos os níveis de organização em seu metabolismo. Entre os mecanismos, estão as trocas gasosas que envolvem a abertura estomática, transpiração e condutância de CO<sub>2</sub>, que conseqüentemente, afetam o aparato fotossintético da planta, seu processo fotoquímico em função da desorganização metabólica. A partir destes danos, a conversão em carboidratos e o acúmulo de fotoassimilados na planta são prejudicados, afetando diretamente a produtividade.

Além destes mecanismos, as plantas empregam estratégias morfológicas para tolerar o estresse hídrico. Entre eles, o aumento no crescimento do sistema radicular, esse que é estimulado durante o estresse hídrico pelo aumento na produção de ABA, favorecendo, dentre outros, a formação de raízes de maior comprimento e quantidades de raízes finas e muito finas, beneficiando a captura de água em camadas mais profundas do solo (Ávila et al., 2017; Pace et al., 1999).

Deste modo, este estudo teve como objetivo caracterizar as mudanças morfométricas do sistema radicular e dos aspectos agronômicos, relacionados a produtividade dos genótipos de milho cultivados sob estresse hídrico.

## **5.5. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação na unidade da Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas-MG, que está localizada na região central de Minas Gerais, 19° 27' 57" de latitude Sul e 44° 14' 49" de longitude Oeste, apresenta clima tropical de altitude, com verões quentes e chuvosos e invernos secos.

Foram utilizados quatro híbridos contrastantes ao estresse de seca: DKB 390 e BRS 1055 (tolerantes) BRS 1040 e BRS 1010 (sensíveis), cuja classificação para tolerância à seca já havia sido estabelecida em estudos anteriores realizados pela Embrapa / CNPMS (Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo), prevalecendo duas plantas por vaso de 20 Litros de solo cada, contendo Latossolo Vermelho Distrófico Típico. As plantas foram irrigadas conforme a necessidade hídrica da cultura, até a imposição do estresse. Com o auxílio de sensores de umidade modelo GB Reader N1535 (Measurement Engineering, Austrália), instalados no centro de cada vaso, com auxílio de um trado rosca, a uma profundidade de 20 cm. Esses sensores detectam a tensão de água no solo, com base na resistência elétrica, e são acoplados a medidores digitais. A umidade do solo foi monitorada diariamente nos períodos da manhã e da tarde (9 e 15 horas), a fim de manter a umidade do solo próxima a capacidade de campo (CC), com tensão de água no solo de  $-18$  kPa (Ávila et al., 2017). Em paralelo, foram realizados todos os tratamentos culturais e fitossanitários necessários, de acordo com a demanda da cultura do milho.

No início do florescimento, foram impostos os dois tratamentos hídricos: irrigado e estressado (supressão da irrigação durante 15 dias). No primeiro, a reposição hídrica foi realizada diariamente até o solo atingir a umidade próxima a Capacidade de Campo, enquanto no segundo tratamento foi fornecido diariamente 50% da água total disponível até a tensão de água no solo atingir, no mínimo de  $-138$  kPa (Ávila et al., 2017), a qual foi mantida por um período de quinze dias.

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo, 4x2 (quatro genótipos de milho, combinados com duas condições de cultivo: irrigado e estressado) e quatro repetições.

### **5.5.1. Avaliações Agronômicas**

Para a análise dos componentes de produção foram avaliados:

- i. Altura de planta (m): determinada com régua graduada em centímetros, tomando-se a

medida da superfície do solo até a inserção da folha bandeira.

- ii. Altura de inserção de espiga (m): determinada com régua graduada em centímetros, tomando-se a medida do solo até a base da espiga.
- iii. Diâmetro do colmo (mm): medido com um paquímetro em milímetros, no terceiro nó da planta a partir do solo.
- iv. Massa seca das plantas (g): as duas plantas de cada vaso foram cortadas rente ao solo, colocadas em sacolas de papel e levadas para secar em estufa com ventilação forçada, a 70°C, durante 72 horas, após foram pesadas.
- v. Número de espigas (un): contado o número de espigas das plantas totais.
- vi. Massa de espigas (g): o total de espigas foi pesado em uma balança digital.
- vii. Comprimento de espiga (cm): determinado com régua graduada em milímetros, mensurada da base até o ápice da espiga.
- viii. Diâmetro de espiga (mm): medido com um paquímetro em milímetros, tomando-se a medida na parte central da espiga.
- ix. Número de fileiras por espiga (un): contado individualmente, em cada uma das espigas, o número de fileiras de grãos.
- x. Número de grãos por fileira (un): contado o número de grãos de uma fileira.
- xi. Massa de 100 grãos (g): após a debulha das espigas é realizada a homogeneização do lote e, posteriormente, separadas duas repetições de 100 grãos, os quais foram pesados em uma balança digital obtendo-se a massa de 100 grãos por meio da média das duas pesagens.
- xii. Massa total de grãos (g): após a debulha das espigas, os grãos foram pesados em uma balança digital.

Umidade dos grãos foi ajustada a 13%.

### **5.5.2. Análise de raízes**

Foi utilizado o sistema *WinRHIZO Pro 2007a* (Régent Instr. Inc.), acoplado a um scanner profissional Epson XL 10000 equipado com unidade de luz adicional (TPU). Foram determinadas as seguintes características de raiz: área de superfície de raiz (cm<sup>2</sup>), volume de raiz (cm<sup>3</sup>) e comprimento de raiz por classe de diâmetro (cm). As raízes foram classificadas segundo três classes de diâmetro, como descrito a seguir: raízes muito finas ( $\emptyset < 0,5$  mm), raízes finas ( $> 0,5 \emptyset < 2,0$  mm) e raízes grossas ( $\emptyset > 2,0$  mm). Classes definidas com base no critério de classificação de raízes proposto por Bhom (1979).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANAVA) com auxílio do software estatístico Sisvar versão 5.6. (Ferreira, 2011). Quando verificado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



## 5.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação às avaliações agronômicas (Tabela 1), para a massa seca das plantas (g); número de espigas; massa de espigas (g); comprimento de espigas (cm); diâmetro de espigas (mm); número de fileira por espiga; número de grãos por fileira; massa de 100 grãos (g) e massa total de grãos (g) houve influência das fontes de variação analisadas individualmente e em interações duplas. Para a altura de plantas (m), houve influência apenas da fonte de variação condição, já para diâmetro do colmo (mm) para a fonte genótipos. Quanto à altura da inserção da espiga (m), houve influência apenas das fontes analisadas de forma individual.

As variáveis comprimento de raízes muito finas (cm), área superficial de raízes muito finas (cm<sup>2</sup>) e volume de raízes muito finas (cm<sup>3</sup>) (Tabela 2) apresentaram influência das fontes de variação analisadas individualmente e em interação dupla. Já para comprimento de raízes finas (cm), comprimento de raízes grossas (cm), área superficial de raízes finas (cm<sup>2</sup>) e volume de raízes finas (cm<sup>3</sup>) não houve influência dos fatores de variação quando analisados em interação dupla. A área superficial de raízes grossas (cm<sup>2</sup>) e volume de raízes grossas (cm<sup>3</sup>) foi influenciada apenas pelo fator genótipo.

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância para as variáveis agronômicas em quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 - sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo (irrigado e estressado). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

FV	GL	QM											
		ALTP	ALTIE	DCOL	MSP	NESP	MESP	CESP	DESP	NFESP	NGF	M100G	MTG
COND	1	0,17**	0,14**	0,14 ns	19049,57**	1,53**	28003,39**	59,95**	1448,16**	79,16**	1691,73**	271,79**	106660,79**
GEN	3	0,06 ns	0,05**	3,10*	1368,17**	0,53**	2889,80**	7,47**	318,78**	42,13**	130,45**	423,25**	9968,38**
COND * GEN	3	0,01 ns	0,02 ns	0,16 ns	2451,07**	0,53**	2373,59**	8,45**	176,70**	45,28**	285,44**	262,39**	7909,24**
ERRO	24	0,02	0,0057	0,91	76,82	0,03	103,21	1,70	11,36	1,59	2,27	5,49	194,99
TOTAL	31												
CV (%)		5,86	5,31	7,14	4,84	9,92	12,86	10,43	9,47	10,58	6,39	10,89	10,64
MÉDIA		2,53	1,42	13,39	181,24	1,78	78,98	12,49	35,58	11,90	23,57	21,51	131,29

Abreviaturas: ALTP= Altura de plantas; ALTIE= Altura da inserção de espiga; DCOL= Diâmetro do colmo; MSP= Massa seca das plantas; NESP= Número de espigas; MESP= Massa de espigas; CESP= Comprimento de espiga; DESP= Diâmetro de espiga; NFESP= Número de fileiras por espiga; NGF= Número de grãos por fileira; M100G= Massa de 100 grãos; MTG= Massa total de grãos.

FV- Fontes de variação; GL- Graus de liberdade; CV- Coeficientes de variação; ns- não significativo; QM- Quadrado médio; COND- Condições de cultivo; GEN- Genótipos; \*\* - Significativo a 1% pelo teste F.

**Tabela 2** - Resumo da análise de variância para as variáveis radiculares em quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 – tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 - sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo (irrigado e estressado). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

FV	GL	QM								
		Compriment o Raízes Muito Finas	Compriment o Raízes Finas	Compriment o Raízes Grossas	Área Superfíci al Raízes Muito Finas	Área Superfícial Raízes Finas	Área Superfíci al Raízes Grossas	Volume Raízes Muito Finas	Volume Raízes Finas	Volume Raízes Grossas
COND	1	535513619,27**	58666843,16**	414377,66**	1977880,79**	5080513,11**	222374,36 ns	93,47**	4035,61**	257,02 ns
GEN	3	128269187,57**	19604294,36**	953357,36**	446756,06**	1607942,11**	1054668,74**	20,46**	1055,38**	10483,57**
COND * GEN	3	27457628,63**	1831716,94 ns	18458,56 ns	72854,29**	118078,13 ns	28158,54 ns	2,85**	59,97 ns	6158,70 ns
ERRO	24	2786630,29	748729,81	34917,05	9514,82	43280,30	77268,35	0,61	35,08	2639,09
TOTAL	31									
CV (%)		13,44	14,18	10,59	12,36	11,51	12,88	14,46	11,63	19,47
MÉDIA		12421,5	6102,0	1765,32	789,09	1807,14	2157,84	5,39	50,94	263,87

FV- Fontes de variação; GL- Graus de liberdade; CV- Coeficientes de variação; ns- não significativo; QM- Quadrado médio; COND- Condições de cultivo; GEN- Genótipos; \*\* - Significativo a 1% pelo teste F.

Todos os genótipos em estudo (Tabela 3), tanto em condição irrigada quanto em estressada, não apresentaram diferença significativa em altura de plantas (ALTP), diâmetro do colmo (DCOL) enquanto que a Massa seca de plantas (MSP) apenas em condição estressada foi influenciada. Sob déficit hídrico as plantas oriundas do genótipo DKB 390 apresentaram maiores massa total de grãos (MTG), diâmetro de espiga (DESP), número de fileiras por espiga (NFESP) e comprimento de espiga (CESP), esta última com valor semelhante ao BRS 1040. No entanto em condição de cultivo irrigado, não houve diferença entre os genótipos. O DKB 390 apresentou massa total de grãos (MTG) e diâmetro de espiga (DESP), em condição irrigada, 21,6% e 13,6% respectivamente, superior ao cultivado sob estresse hídrico. Assim como os resultados encontrados por Ávila (2017), genótipos sensíveis à seca, reduziram massa seca de grãos quando em comparação com seus controles na condição irrigada. No genótipo DKB 390 foi notado maior número de grãos por fileira (NGF) em condição de cultivo estressado, o contrário ocorreu sob cultivo irrigado, no qual foi notado menor valor, sendo este genótipo estatisticamente semelhante nas duas condições de cultivo.

Em condição de cultivo estressado, o BRS 1055 foi observado menor valor de massa de 100 grãos (M100G), já o BRS 1040 apresentou maior valor, sendo também estatisticamente semelhante ao BRS 1010. No entanto, em condição irrigada, o DKB 390 foi superior aos demais genótipos, quanto a M100G. O DKB 390 apresentou maior massa de espigas (MESP) em relação aos demais genótipos, em condição estressada, sendo que a condição de cultivo irrigada foi superior em todos os genótipos, em relação à estressada.

**Tabela 3.** Médias dos Componentes de Produção obtida em quatro genótipos de milho, em duas condições de cultivo (irrigado e estressado). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

	IRRIGADO				ESTRESSADO			
	Sensíveis		Tolerantes		Sensíveis		Tolerantes	
	BRS 1040	BRS 1010	DKB 390	BRS 1055	BRS 1040	BRS 1010	DKB 390	BRS 1055
<b>ALTP</b>	2,67 Aa	2,48 Aa	2,52 Aa	2,72 Aa	2,43 Ba	2,38 Aa	2,48 Aa	2,53 Aa
<b>ALTIE</b>	1,28 Bb	1,31 Ab	1,31 Bb	1,52 Aa	1,50 Aab	1,39 Ab	1,50 Aab	1,56 Aa
<b>DCOL</b>	13,74 Aa	13,43 Aa	12,54 Aa	13,59 Aa	14,19 Aa	13,23 Aa	12,55 Aa	13,86 Aa
<b>MSP</b>	214,39 Ab	234,44 Aa	162,50 Ac	211,24 Ab	154,27 Ba	152,06 Ba	162,73 Aa	158,32 Ba
<b>NESP</b>	2,00 Aa	2,00 Aa	2,00 Aa	2,00 Aa	2,00 Aa	1,25 Bb	2,00 Aa	1,00 Bb
<b>MESP</b>	178,44 Aab	174,76 Ab	203,93 Aa	198,95 Aab	63,69 Bb	67,87 Bb	160,45 Ba	2,20 Bc
<b>CESP</b>	13,85 Aa	13,41 Aa	13,68 Aa	14,49 Aa	12,18 Aab	9,19 Bc	13,30 Aa	9,81 Bbc
<b>DESP</b>	41,25 Aa	41,91 Aa	45,39 Aa	40,69 Aa	31,37 Bb	31,42 Bb	39,22 Ba	13,43 Bc
<b>NFESP</b>	12,75 Aa	13,00 Aa	14,13 Aa	14,00 Aa	10,25 Bb	12,17 Ab	14,88 Aa	4,00 Bc
<b>NGF</b>	31,38 Aa	31,00 Aa	28,00 Ab	33,00 Aa	14,50 Bb	20,50 Bc	26,83 Aa	3,38 Bd
<b>M100G</b>	23,56 Bb	24,10 Ab	28,71 Aa	21,35 Ab	28,60 Aa	24,04 Aab	21,76 Bb	0,00 Bc
<b>MTG</b>	103,11 Aa	103,85 Aa	116,02 Aa	111,27 Aa	39,09 Bc	61,26 Bb	90,95 Ba	6,28 Bd

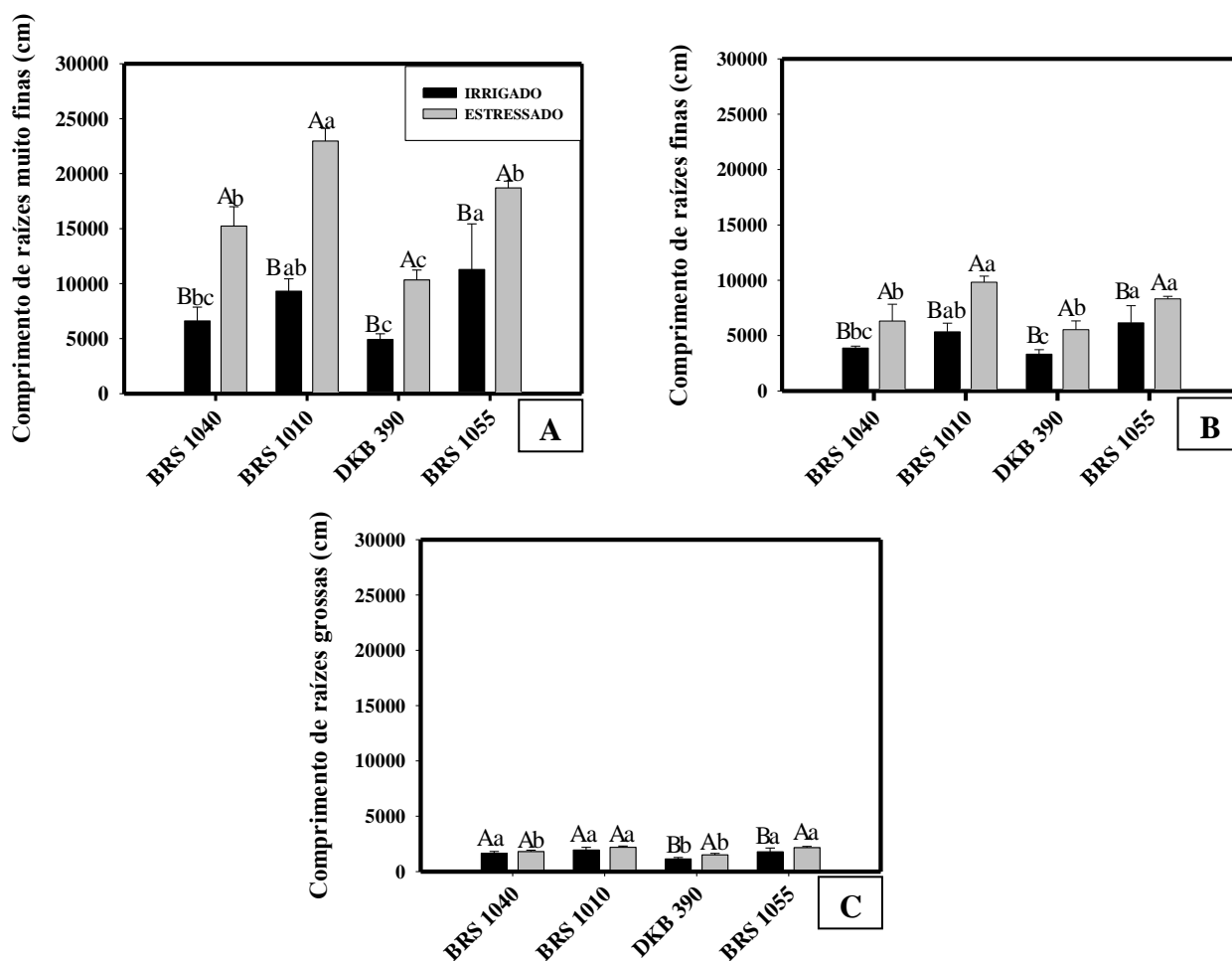
Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas denotam comparações entre os genótipos dentro da mesma condição de cultivo, e maiúsculas comparações entre as condições de cultivo dentro de um mesmo genótipo.

Abreviaturas: ALTP= Altura de plantas (m); ALTIE= Altura da inserção de espiga (m); DCOL= Diâmetro do colmo (mm); MSP= Massa seca das plantas (g); NESP= Número de espigas (un); MESP= Massa de espigas (g); CESP= Comprimento de espigas (cm); DESP= Diâmetro de espigas (mm); NFESP= Número de fileiras por espiga (un); NGF= Número de grãos por fileira (un); M100G= Massa de 100 grãos (g); MTG= Massa total de grãos (g).

É notável o efeito do estresse por falta de água nos atributos de produção, sendo que os resultados encontrados em DKB 390 confirmaram sua tolerância à seca, comparados aos genótipos sensíveis estudados bem como superando o genótipo também tolerante BRS 1055. Segundo Souza et al. (2013), maiores rendimentos em DKB 390, se deve a uma alocação diferencial de fotoassimilados na espiga durante o ciclo, e está ligado a menores valores de distanciamento entre feixes vasculares e de percentual de folhas secas, bem como maior número de estômatos, de abertura estomática, de sincronicidade das inflorescências e de relação Fv/Fm. Foi percebido no genótipo DKB 390, a alocação vantajosa de fotoassimilados na espiga, que o favoreceu quanto aos componentes de produção. Segundo Borra's et al. (2004) a eficiência de remobilização de fotoassimilados armazenados no colmo para a produção sementes, pode estar por trás das diferenças do peso seco da semente.

Foram observados maiores valores de comprimento de raiz em todas as classes (Figura 1.: A,B,C) sob condição de cultivo estressado, apenas a classe de raízes grossas (C), apresentou semelhança entre os genótipos BRS 1040 e BRS 1010. O BRS 1010 e o BRS 1055 em condição de estresse apresentaram comprimento superior de raízes muito finas, finas e grossas. De acordo com a teoria do equilíbrio funcional (Brouwer 1962) citado por Lavinsky

et al., (2015), as plantas aumentam a alocação de biomassa para as brotações se o ganho de carbono for afetado pela limitação de recursos acima do solo, como luz e CO<sub>2</sub>. Da mesma forma, as plantas aumentam a alocação de biomassa para as raízes, quando submetido a baixos níveis de recursos subterrâneos, ou seja, água e nutrientes (Poorter e Nagel 2000) citado por Lavinsky et al., (2015). O DKB 390 desenvolveu menor comprimento de raízes muito finas (A) sob estresse de água, enquanto nas demais classes de comprimento (B, C) foi semelhante ao genótipo BRS 1040.

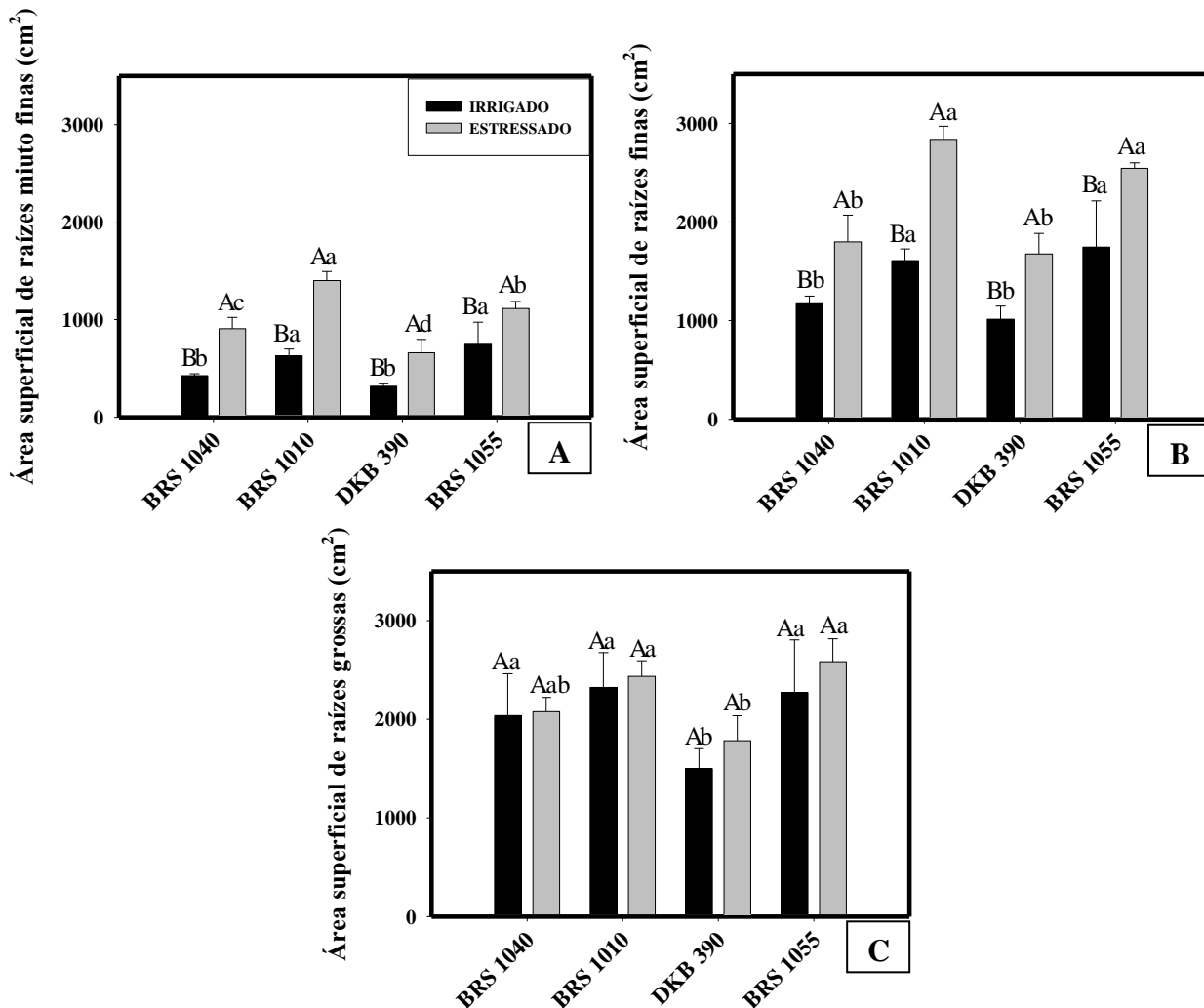


**Figura 1.** Classes de comprimento radicular (A= muito finas; B= finas; C= grossas) em quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 – tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 - sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo (irrigado e estressado). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula para condição de cultivo e minúsculas para genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A área superficial de raízes (Figura 2) muito finas (A) e finas (B) apresentaram médias superiores em condição de estresse. No entanto, quanto à área superficial de raízes grossas, as condições de cultivo irrigado e estressado foram semelhantes. O BRS1010 apresentou área

superficial de raízes muito finas maior que os demais genótipos sob estresse de água, contudo, nas classes restantes (B, C) este genótipo foi semelhante ao BRS 1055.

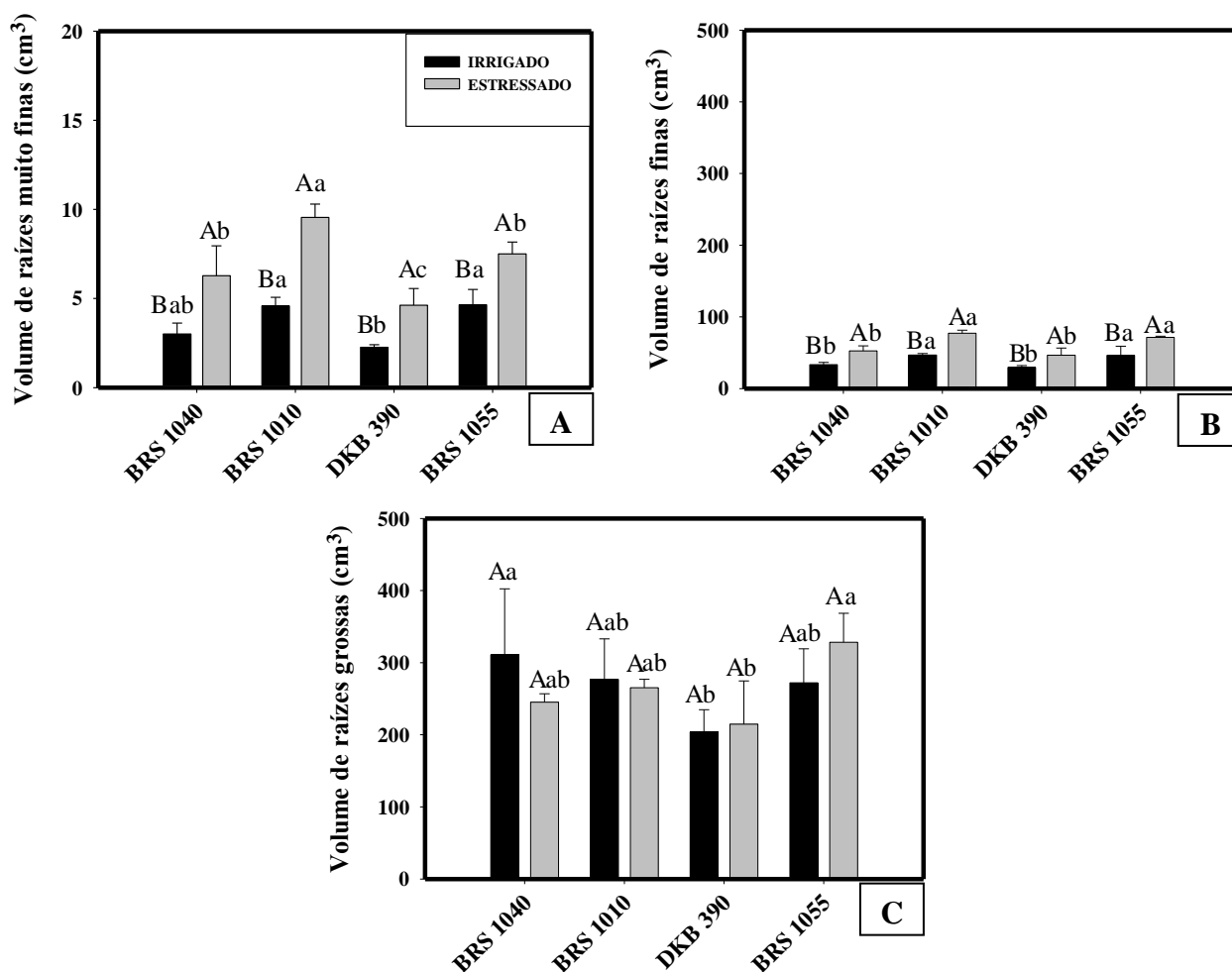


**Figura 2.** Classes de Área superficial de raízes (A= muito finas; B= finas; C= grossas) em quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 – tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 – sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo (irrigado e estressado). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula para condição de cultivo e minúsculas para genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O volume de raízes (Figura 3) muito finas (A) encontrado sob cultivo estressado, foi maior no genótipo BRS 1010, contudo para o volume de raízes finas (B), tal genótipo foi semelhante ao BRS 1055 e na classe de volume de raízes grossas (C), sendo estes últimos semelhantes ao BRS 1040. Todos os genótipos apresentaram maior volume de raízes muito finas e finas (A, B) sob condição de cultivo estressado em relação ao irrigado, no entanto, os genótipos apresentaram volume de raízes grossas (C) semelhantes nos dois sistemas de

cultivo (irrigado e estressado).



**Figura 3.** Classes de Volume de raízes (A= muito finas; B= finas; C= grossas) em quatro genótipos de milho (DKB 390, BRS 1055 – tolerantes, e BRS 1040, BRS 1010 - sensíveis a déficit hídrico), em duas condições de cultivo (irrigado e estressado). UFSJ, Sete Lagoas-MG, 2019.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula para condição de cultivo e minúsculas para genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O comportamento observado entre comprimento e área superficial de raízes nos genótipos estudados foi semelhante em condição de cultivo estressado. Nota-se ainda, que os genótipos BRS 1055 e BRS 1010 alcançaram melhor desenvolvimento do sistema radicular, no entanto, não significando superioridade de conversão em produção. Portanto, apesar do BRS 1055 ser um genótipo de tolerância já estabelecida em estudos anteriores, nas condições deste estudo, ter apresentado alta taxa fotossintética líquida comparado aos genótipos sensíveis, sem comprometimento do fotossistema II, desenvolvimento radicular expressivo, não apresentou produção correspondente. Infere-se que tenham ocorrido diferenças no particionamento dos fotoassimilados. Considerando a escassez de água, Fancelli e Dourado



Neto (2004) citados por Kopper et al. (2017); Andrade et al. (1991) estabelecem que a máxima eficiência de conversão da radiação solar é afetada pela temperatura e seu estado nutricional, influenciando assim, no resultado final de produção de grãos, além da resposta de cada genótipo quanto ao particionamento dos fotoassimilados.

Segundo Uga et al. (2013) o enraizamento profundo pode ajudar as plantas a evitar o estresse a seca, extraindo a água das camadas profundas do solo, alterando apenas o ângulo de crescimento da raiz, sem interferência na biomassa da parte aérea ou da raiz e sem penalidades no rendimento das plantas, sendo assim, sob condições de seca ou na capacidade de campo, beneficiam o alto rendimento de grãos. Segundo Liu et al. (2010) vários fatores e a relação entre eles, como fatores climáticos, também a disponibilidade de recursos, o estresse ou outras perturbações, podem influenciar as ligações entre os subsistemas acima e abaixo do solo (Wardle et al., 2004).

As plantas apresentaram sob estresse de seca, maior comprimento (Figura 1), área superficial (Figura 2) e volume (Figura 3) de raízes muito finas (A) e finas (B), quando comparado ao cultivo irrigado, justificado pela maior capacidade de exploração do solo e obtenção de água. Já raízes grossas (C) não apresentaram diferença significativa entre cultivo irrigado e estressado, quanto à área superficial e volume de raízes. Fatos estes que demonstram efeito já relatado por Fitter, (2002); SILVA et al. (2007) citado por Magalhães et al. (2009) em que raízes finas (até 2 mm) são responsáveis pela absorção de água e nutrientes e as raízes grossas responsáveis principalmente pela fixação da planta ao solo.

## **5.7 CONCLUSÕES**

A produção de massa de grãos do DKB 390 sobressaiu-se sobre os demais genótipos sensíveis estudados bem como superando o genótipo também tolerante BRS 1055.

Sob estresse hídrico as plantas de milho tiveram maior desenvolvimento radicular comparado às plantas cultivadas em sistema irrigado.

Os genótipos BRS 1055 e BRS 1010 alcançaram melhor desenvolvimento do sistema radicular sob cultivo estressado, no entanto, a produção de grãos não foi correlacionada com tal característica.

## 5.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. H.; UHART, S.; ARGUISSAIN, G. **Rendimento potencial de maiz en Balcarce: analisis de los factores que lo determinan**. Balcarce: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, 1991. 11 p. (Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária. Boletín Técnico, 101).

AVILA, R. G. ; SILVA, E. M. DA ; MAGALHÃES, P. C. ; ALVARENGA, A. A. DE ; LAVINSKY, A. DE O. Drought changes yield and organic and mineral composition of grains of four maize genotypes. **Academia Journal of Agricultural Research** 5(9): 243-250, September-2017.

AVILA, R. G; MAGALHÃES, P. C.; & ALVARENGA, A. A.; LAVINSKY, A. O.; CAMPOS, C. N.; GOMES JÚNIOR, C. C.; SOUZA, T. Drought-tolerant maize genotypes invest in root system and maintain high harvest index During water stress. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v. 15, p. 450-460, 2017.

BORRA´S L, SLAFER GA, OTEGUI ME. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: quantitative reappraisal. **Field Crop Res** 86:131–146. 2004.

CONAB-Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 6 - Safra 2018/19 - Oitavo levantamento, Brasília, p. 1-132 maio 2019.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

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

KOPPER, Clayton Vilmar et al. Características agronômicas e produtividade de milho segunda safra em função da velocidade de semeadura e população de plantas. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Brasil, v. 22, jun. 2017. ISSN 2446-8053.

LAVINSKY, A. O. ; MAGALHÃES, P. C. ; GOMES, M. M. D. ; GOMES JUNIOR, C. C. ; DE CASTRO, EVARISTO MAURO ; AVILA, R. G. . Root System Traits and Its Relationship with Photosynthesis and Productivity in Four Maize Genotypes under Drought. **Cereal Research Communications**, p. 1-9, 2015.

LIU, G., FRESCHET, G. T., PAN, X., CORNELISSEN, J. H. C., LI, Y., & DONG, M. Coordinated variation in leaf and root traits across multiple spatial scales in Chinese semi-arid and arid ecosystems. **New Phytologist**, 188(2), 543–553. 2010.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; PARENTONI, S. M. **Avaliação das modificações morfológicas radiculares durante os ciclos de seleção do milho Saracura tolerante a hipoxia**. Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 23 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1217-1981; 15)

PACE, P.F. et al. Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. **Journal of Cotton Science**, Baton Rouge, v. 3, n. 4, p. 183-187, 1999.

SOUSA, C. A. F.; PAIVA, D. S.; CASARI, R. A. DAS C. N.; OLIVEIRA, N. G.; MOLINARI, H. B. C.; KOBAYASHI, A. K.; MAGALHÃES, P. C.; GOMIDE, R. L.; SOUZA, M. T. A procedure for maize genotypes discrimination to drought by chlorophyll fluorescence imaging rapid light curves. **Plant Methods**, 13(1), 2017.

SOUZA, T. C. de; CASTRO, E. M. de; MAGALHAES, P. C.; LINO, L. de O.; ALVES, E. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, Copenhagen, v.35, n. 11, p. 3201-3211.2013.

UGA, Y., SUGIMOTO, K., OGAWA, S., RANE, J., ISHITANI, M., HARA, N., ... YANO, M. Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. **Nature Genetics**, 45(9), 1097–1102. 2013.

WARDLE DA, BARDGETT RD, KLIRONOMOS JN, SETALA H, VAN DER PUTTEN WH, WALL DH. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. **Science** 304: 1629–1633. 2004.