



Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico¹

Jacirema R. da Costa²; João L. N. de Pinho³ & Maurício M. Parry⁴

RESUMO

Objetivando-se identificar algumas características da cultura do milho que lhe confiram melhor estabilidade de produção quando explorado nas condições climáticas do semi-árido nordestino, avaliou-se o desempenho fenotípico de duas cultivares de milho, M-21 e BR-106, face aos diferentes níveis de água disponível (AD) no solo, nos estádios vegetativo e reprodutivo, em relação à produção de matéria seca. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no delineamento blocos ao acaso, com quatro tratamentos (níveis de água disponível): a) testemunha (100% AD); b) plantas com 75% AD; c) 50% AD e, d) plantas submetidas ao ponto de murcha permanente. O estresse aplicado no estágio vegetativo reduziu o conteúdo relativo de água, área foliar, matéria seca das raízes (MSR) e parte aérea das plantas. No estágio reprodutivo, os tratamentos também influenciaram negativamente esses parâmetros, exceto a produção de MSR, que não apresentou resposta e a cultivar BR-106 mostrou-se mais tolerante ao déficit hídrico nos dois estádios fenológicos estudados.

Palavras-chave: água disponível, avaliação, estágio fenológico

Dry matter production of corn cultivars under different water stress levels

ABSTRACT

The study was conducted in order to evaluate the performance of two corn cultivars (M-21 and B-106) grown under water stress during the vegetative and reproductive growth stages. The investigation was carried out under greenhouse conditions and the experimental design consisted of entirely randomized blocks, with four replicates and the following treatments: (a) control (100% of available water), (b) plants with 75% of available water, (c) plants with 50% of available water and (d) plants subjected to permanent wilting point. The water stress affected the vegetative growth stages by decreasing the relative water content, the leaf area, and dry weight of the roots and shoots. During the reproductive growth stage the treatments also affected these parameters except the dry weight of roots, and the cultivar BR-106 was more tolerant to water stress during both growth stages.

Key words: water available, evaluation, phenological stage

¹ Parte da Monografia apresentada pelo primeiro autor a Universidade Federal do Ceará

² Analista Técnica Rural. Banco do Brasil S.A. Av. 25 de Setembro, 928, Bairro Marco, CEP 66093-000, Belém, PA. Fone: (91) 3226-0714. E-mail: jacirusso@hotmail.com

³ Departamento de Fitotecnia/UFC, Fone: (85) 3366-9670

⁴ Centro de Ciência da Terra e Ecologia/MPEG, Pesquisador Bolsista CNPq/PPBio. Tv. Benjamin Constant, 877/1001, Bairro Reduto, CEP 66053-040, Belém, PA. Fone: (91) 3224-0772. E-mail: mauricioparry@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*, L.), uma das gramíneas de maior importância econômica do mundo, é cultivado em países de clima tropical, subtropical e de clima temperado com verões quentes.

Muitos estudos têm sido desenvolvidos visando a uma adaptação melhor das culturas a regiões com limitações hídricas e mais tolerantes à acidez (Cantarella, 1993; Rajj et al., 1998); no entanto, o rendimento das espécies sob estresse, está bem aquém dos seus potenciais de produtividade, dentre as quais se encontra o milho, caracteristicamente pouco tolerante ao déficit hídrico (Silva et al., 1984) e cujo cultivo em regiões semi-áridas, como o Nordeste brasileiro, é de suma importância não só para suprir diretamente as necessidades alimentares da população, mas, também, da agroindústria regional.

Os principais fatores que atuam sobre a transpiração, são: radiação solar, umidade relativa do ar, temperatura do ar, velocidade do vento e disponibilidade de água no solo, porém caso o suprimento de água no solo seja reduzido pela seca ou devido à baixa temperatura, a absorção se torna menor que a transpiração, causando uma condição de déficit hídrico interno na planta (Sutcliffe, 1980).

O esforço para evitar a desidratação é uma característica de muitas plantas; e é atingido percorrendo vários caminhos, em grande parte com a planta sofrendo adaptações morfológicas e fisiológicas na natureza; já a tolerância à desidratação é uma adaptação mais primitiva, típica de poucos organismos terrestres, dependentes da intrínseca propriedade do protoplasma.

As plantas se adaptam ao estresse utilizando-se de mecanismos de fuga e tolerância podendo, assim, sofrer adaptações morfológicas e fisiológicas (Kramer, 1974). Essas respostas são dependentes, dentre outras, da duração, da intensidade e da velocidade de aplicação do déficit hídrico (Carlesso et al., 1996). Magalhães (1995) concluiu, através de seus experimentos, que plantas de milho sob déficit hídrico acumulam açúcares solúveis nas folhas, ao mesmo tempo em que ocorre a diminuição na quantidade de amido. De acordo com o autor, a maior mobilização de sacarose pelas plantas ocorreu, mas não de modo generalizado, durante a noite, quando a planta estava relativamente mais hidratada e sujeita as temperaturas mais moderadas.

Estudando a determinação dos coeficientes de respiração de crescimento e de manutenção nas raízes e parte aérea em milho e arroz, Machado & Pereira (1987) concluíram que em todas as cultivares a eficiência em conversão foi maior na parte aérea que nas raízes, enquanto o coeficiente de manutenção das raízes foi sempre maior que da parte aérea. Os autores sugerem, ainda, que a baixa eficiência global de crescimento das raízes está relacionada à necessidade adicional de energia para a absorção iônica, acrescida de baixa eficiência de conversão de energia na respiração das raízes.

Em muitas espécies a redução ou paralisação da expansão celular é um dos processos mais sensíveis, se não for o mais sensível, ocasionado na planta pelo estresse hídrico, quando uma pequena redução no potencial de pressão causa, apa-

rentemente, uma desaceleração da elongação celular (Hsiao et al., 1976). Os autores acrescentam que o estresse hídrico reduz o turgor das células e, conseqüentemente, o seu crescimento, além de reduzir a atividade da redutase do nitrato e ocasionar um incremento na síntese de ácido abscísico (ABA), ocasionando o fechamento estomático e diminuição na assimilação de CO₂.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo estudar a influência de diferentes níveis de água disponível, nos estádios vegetativo e reprodutivo de duas cultivares de milho, em relação a algumas de suas variáveis morfológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias/UFC, em Fortaleza (3° 44' 26,2" S e 38° 34' 30,3" W), onde a temperatura média anual é de 26,6 °C e a precipitação pluviométrica anual média é de 1.642,3 mm. Em agosto de 1998 deu-se o início da implantação do experimento, com duração de 4 meses.

Dois cultivares de milho (BR-106 e M-21), foram utilizadas e desenvolvidas pelo sistema EMBRAPA (1997) e EPA-CE (1994).

As características botânicas e agrônômicas dessas cultivares se acham na Tabela 1.

Tabela 1. Características botânicas e agrônômicas das cultivares de milho Epace M-21 e BR-106

Descrição do Material	M-21	BR-106
Polinização	Aberta	
Ciclo médio:		
- da emergência ao florescimento	47-52 dias	65 dias
- da emergência à colheita	105-115 dias	130 dias
Altura média de planta	2,30 m	2,40 m
Altura média da 1ª espiga	1,30 m	1,35 m
Empalhamento das espigas	Bom	Muito bom
Tolerância ao acamamento	Resistente	Muito bom
Tipo de grão	Dentado	Sedimentado
Cor do grão	Amarelo	Amarelo-ouro
Rendimento experimental (sequeiro)	3.266 kg ha ⁻¹	5.500 kg ha ⁻¹

Fonte: EMBRAPA (1997), EPACE (1994)

As plantas foram cultivadas em vasos plásticos com 10 litros da seguinte mistura: 2/3 de solo arenoso e 1/3 de esterco bovino curtido e deixados em repouso durante 50 dias, até que o solo estivesse com a sua atividade microbiana estabilizada; após este período, retiraram-se amostras aleatórias dos vasos para as análises químicas e físicas, realizadas no Laboratório de Análise de Solo do DS/UFC, cujos resultados se encontram na Tabela 2.

Três sementes por vaso foram semeadas a uma profundidade média de 4,0 cm. O primeiro desbaste foi efetuado oito dias após a emergência (DAE) das plantas, deixando-se duas plantas por vaso e o segundo aos quatorze DAE, deixando-se apenas uma planta por vaso. Com base nos resultados da

Tabela 2. Atributos químicos e físicos da mistura usada como substrato do experimento

Elemento*	Unidade	Valor
pH (H ₂ O)	-	6,8
P	mg dm ⁻³	295
K	mg dm ⁻³	0,43
Ca	cmol _c dm ⁻³	4,9
Mg	cmol _c dm ⁻³	1,1
Na	cmol _c dm ⁻³	0,41
Al	cmol _c dm ⁻³	0,0
H + Al	cmol _c dm ⁻³	0,50
S.B.	cmol _c dm ⁻³	6,8
T	cmol _c dm ⁻³	7,3
V	%	93
M.O.	%	2,81
N	%	0,11
C	%	1,63
C/N	%	15
Areia grossa	%	42
Areia fina	%	49
Silte	%	6
Argila	%	3
Densidade	g cm ⁻³	1,49

* Determinações realizadas segundo metodologia da EMBRAPA (1997)

análise química do solo, procedeu-se à aplicação uniforme dos nutrientes minerais, diluídos em água de irrigação, antes do período de imposição do estresse, de modo que essa variável não interferisse nas hipóteses de trabalho. Na Tabela 3 se encontram os nutrientes minerais utilizados, com suas respectivas quantidades e épocas de aplicação.

Tabela 3. Atributos químicos e físicos da mistura usada como substrato do experimento

Fontes	Solução diluída em 200 mL de H ₂ O/vaso	Época de aplicação
(NH ₄) ₂ SO ₄ *	4,5 g (NH ₄) ₂ SO ₄	6 DAE***
Zn*	132,16 mg ZnSO ₄ · 7H ₂ O	14 DAE
Mn**	92,3 mg MnSO ₄ · H ₂ O	14 DAE
Cu*	39,22 mg CuSO ₄	14 DAE
B*	35,4 mg Na ₂ B ₄ O ₇	14 DAE
K*	0,6 g KCl	41 DAE

* Nutriente mineral dissolvido em água potável. ** dos 200 mL, 150 foram aplicados via solo e 50 mL via foliar. *** Dias após a emergência

Para obtenção dos níveis de AD e controle das irrigações, foram instalados, nos vasos, a uma profundidade de 10 cm, tensiômetros com manômetros de mercúrio (Hg); através deste equipamento se tinha a indicação do nível de tensão da água no solo; o nível da coluna de Hg, dos diversos tratamentos, indicava o momento em que as irrigações nos vasos deveriam ser feitas.

O estresse hídrico foi imposto em dois estádios fenológicos da cultura: vegetativo (35 dias após a germinação - DAG) e reprodutivo (início da floração, em torno dos 50 a 120 DAG). As plantas submetidas ao estresse no estádio vegetativo, não sofreram estresse na segunda fase e vice-versa; assim sendo, através de irrigações diárias o solo dos vasos foi mantido sempre próximo à capacidade de campo (cc). O início da imposição do estresse durante

o estádio vegetativo foi aos 35 dias após a germinação (DAG) das plantas o qual perdurou até os 44 DAG. No estádio reprodutivo, as leituras foram iniciadas quando 40% das plantas estavam emitindo inflorescência, que se deu aos 51 DAG, e perduraram até os 70 DAG, quando algumas plantas já se apresentavam em PMP.

Os tratamentos impostos foram definidos em função do nível de água disponível (AD): a) testemunha (solo dos vasos com 100% de AD para as plantas irrigados diariamente e cuja coluna de Hg não ultrapassava a altura máxima de 10,3 cm do nível da cuba de Hg, próximo à cc); b) Estresse I - 75% de AD (plantas irrigadas quando a altura da coluna de Hg atingia 22,8 cm de altura); c) Estresse II - 50% de AD (plantas irrigadas quando a coluna de mercúrio atingia a altura de 64,6 cm) e, d) Estresse III - PMP - ponto de murcha permanente (plantas irrigadas quando a coluna de mercúrio ultrapassava os 64,6 cm e as plantas apresentavam sinais de PMP).

Foram analisadas as seguintes variáveis/tratamento:

- conteúdo relativo de água das folhas (CRA)
- produção final de matéria seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR)
- área foliar (AF)

As amostras para o CRA foram retiradas das folhas de números 4 a 6, a partir do ápice das plantas.

O CRA foi realizado utilizando-se uma porção de aproximadamente 5 cm do limbo foliar de cada planta por tratamento; esta porção foi imediatamente posta em frasco hermeticamente fechado e de peso previamente determinado evitando-se, assim, a perda de água por transpiração sendo, portanto, pesado (matéria fresca); em seguida, as amostras foram postas, individualmente, em placas de Petri, devidamente preparadas com papel de filtro saturado em água destilada, permanecendo 24 h nessas condições; após este período, determinou-se o peso da matéria túrgida. O peso da matéria seca das amostras foi obtido após a secagem em estufa (65 °C), até atingir peso constante. Para o cálculo do CRA aplicou-se a equação:

$$CRA(\%) = \frac{(PF - PS)}{(PT - PS)} \times 100 \quad (1)$$

onde:

CRA - conteúdo relativo de água da folha

PF - peso da matéria fresca dos limbos foliares

PT - peso dos limbos foliares a plena turgescência

PS - peso da matéria seca

No estádio vegetativo como no reprodutivo, foram realizadas cinco leituras de CRA; no vegetativo, as determinações foram efetuadas aos 35, 36, 38, 41 e 44 dias após a germinação das sementes e, no reprodutivo, aos 51, 54, 57, 62 e 70 DAG.

Nos dois estádios da cultura a área foliar foi determinada com o auxílio de trena, medindo-se comprimento e a largura das folhas; o produto dessas medidas foi multiplicado pelo fator de correção 0,71 (Saint-Guily, 1985). Pela redução do ciclo fenológico da cultura, em casa de vegetação, efetuaram-se apenas duas determinações de área foliar no estádio vegeta-

tivo, uma vez que as plantas emitiram seus pendões florais mais cedo que o esperado; já no estágio reprodutivo as determinações foram em número de três.

A produção de matéria seca de parte aérea e raízes dos diversos tratamentos foi definida por ocasião da colheita, isto é, quando as plantas apresentavam maturação fisiológica dos grãos, o que ocorreu aos 98 DAG. A MSPA constou do somatório da produção de folhas, do colmo e das espigas (sabugo, palhada e grãos). Depois de separadas as raízes da parte aérea, o material foi levado à estufa, a 65 °C, até atingir peso constante.

As duas cultivares foram colhidas na mesma data visto que, apesar das cultivares utilizadas na pesquisa possuírem ciclos fenológicos, até certo ponto, diferenciados sob condições de campo (Tabela 1), em casa de vegetação, tiveram seus ciclos evolutivos semelhantes e uniformes (nas duas fases avaliadas), ambos com antecipação desses ciclos.

Todas as variáveis analisadas no estágio vegetativo se encerraram quando da emissão do estilo-estigma das plantas iniciando-se a partir daí, a imposição de estresse hídrico para uma outra bateria de plantas, intactas e sem restrições hídricas. As plantas dos tratamentos no estágio vegetativo foram então reidratadas até que o solo dos seus vasos atingisse a capacidade de campo, condições em que as plantas permaneceram até os 90 DAG, final do ciclo fenológico. Ressalta-se, todavia, que esta adaptação, além de fatores genéticos, depende de outros, como a época de ocorrência com relação à idade da planta, duração, velocidade e intensidade do estresse (Carlucci, 1987; Sinclair et al., 1990; Ferreira, 1992).

No estágio reprodutivo, iniciado aos 51 DAG, ou seja, quando 40% das plantas iniciaram a floração, deu-se início a um novo ciclo de imposições de estresse para a bateria de plantas que até então estava sendo mantida em torno da capacidade de campo e intactas. Após os 70 DAG, todas as plantas submetidas ao estresse no estágio reprodutivo foram reidratadas e permaneceram com 100% AD, até os 90 DAG, a fim de que se completasse a maturação dos grãos, quando então se suspendeu a irrigação para todos os tratamentos dos dois estádios.

Utilizou-se o ensaio fatorial 2 x 2 x 4, em blocos ao acaso, com 4 repetições, sendo os fatores duas cultivares de milho, em dois estádios fenológicos da cultura (vegetativo e reprodutivo), sob 4 níveis de irrigação: Testemunha (sem estresse -100% de AD); Estresse I (75% de AD no solo); Estresse II (50% de AD no solo), Estresse III (PMP). Efetuaram-se 10 determinações de CRA e AF, em parcelas subdivididas; já as determinações de MSPA e MSR foram efetuadas no esquema fatorial descrito. O Software NTIA, versão 4.2.1 foi usado para análise estatística. Como ferramentas auxiliares na análise de variância empregaram-se Gomes (1985) e Banzatto & Kronka (1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas submetidas aos tratamentos 50% e PMP, no estágio reprodutivo, não responderam ao retorno da irrigação, mostrando ser a cultura, nesse estágio de desenvolvimento, bastante sensível a níveis mais severos de estresse hídrico.

Sabe-se que este é o estágio mais crítico para as plantas, pois acarreta redução da polinização e fertilização dos óvulos reduzindo, conseqüentemente, o tamanho da espiga e o número e tamanho dos grãos, ocasionando redução da produtividade (Hsiao, 1973; Fancelli, 1988; Muchow & Sinclair, 1991; Marschner, 1995).

O desenvolvimento das folhas não foi afetado pelas variáveis cultivar e níveis de água disponível no estágio vegetativo. Da mesma forma, não se constataram interações significativas em nenhuma dessas variáveis analisadas como consta da análise de variância, porém com relação ao DAG as plantas se apresentaram com comportamento diferenciado observando-se, portanto, diferença significativa apenas para esta variável (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância com as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para a variável Área Foliar (AF) em cultivares de milho em duas fases de crescimento

FV	GL	QM
Blocos	2	292 ⁺⁰⁶ ns
Cultivar (C)	1	565150,95 ^{ns}
Níveis de água disponíveis(AD)	3	3,60 ⁺⁰⁶ ns
Interação C x AD	3	245051,31
Resíduo (A)	14	1,62 ⁺⁰⁶
Dias após a germinação (DAG)	4	2,25 ⁺⁰⁷ **
Interação C x DAG	4	980571,32
Interação AD x DAG	12	914349,83
Interação C x AD x DAG	12	130742,79
Resíduo (B)	55	1,14 ⁺⁰⁶
Média Geral	-	4.087,59
CV (%)	-	26,07

ns- não significativo *, significativo a 5% e ** significativo a 1% pelo teste F

Todavia, comparando-se os valores de AD dos diversos tratamentos e crescimento foliar observou-se que, nos estádios vegetativo (37 DAG) e reprodutivo (43 DAG), as plantas submetidas aos níveis de 75 e 50% AD apresentaram menor área foliar, não apresentando, entretanto, diferença estatística em relação aos demais tratamentos (Tabela 4 e Figura 1A). Comportamentos opostos mostraram as plantas submetidas ao PMP, nos estádios fenológicos estudados, sem diferença em relação à testemunha (Figura 1).

Os resultados do presente estudo se mostraram contraditórios aos de Kramer (1974) e outros autores, os quais relatam que, sob condições de estresse e para evitar desidratação, primeiro as plantas fecham os seus estômatos, reduzindo as suas atividades fotossintéticas, seguindo-se de uma redução ou até completa paralisação do seu crescimento. O efeito mais aparente das plantas submetidas ao estresse hídrico, é a redução do porte da planta e de sua área foliar (Kramer, 1983). Quando o estresse se torna mais severo, verifica-se ainda uma aceleração da senescência das folhas a partir da base das plantas (Burke et al., 1985). Volkenburgh & Boyer (1985), observaram efeito inibitório do déficit hídrico sobre a alongação das folhas na cultura do milho. Trabalhando com sorgo e milheto, Pinho (1992), verificou que o estresse hídrico reduziu em mais de 50% a área foliar dessas espécies.

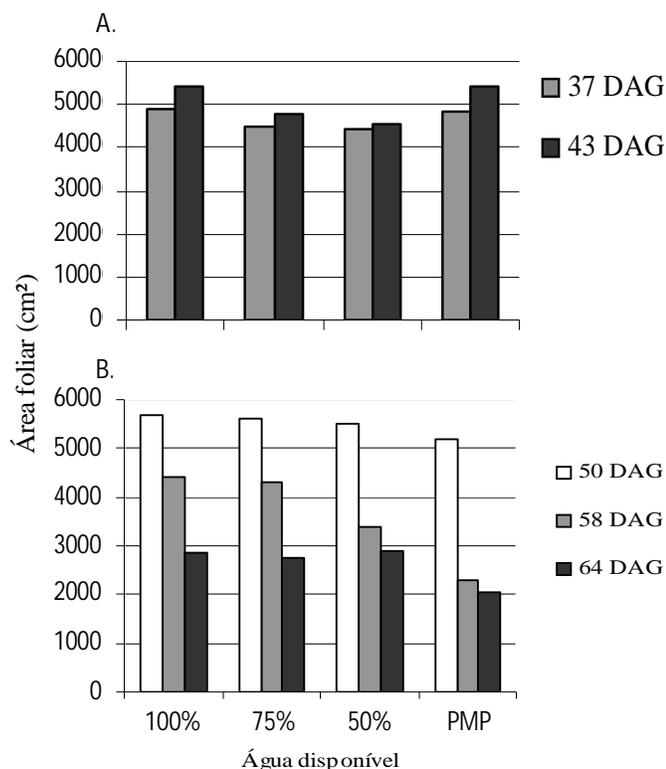


Figura 1. Evolução da área foliar (cm²) média de duas cultivares de milho submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico no estágio vegetativo, no período entre 37 e 43 (A) e dias após germinação – DAG; no estágio reprodutivo do ciclo fenológico (B)

Já no estágio reprodutivo se observou redução da área foliar das plantas em todos os níveis de água disponível, inclusive nas testemunhas, que se foi intensificando com o grau de imposição do estresse (Figura 1B); assim se obteve, em média, uma redução de 13, 26, 24 e 47%, respectivamente, para plantas testemunha (100% AD, 75% AD, 50% AD e PMP). Ocorreu diferença estatística a nível de 5% somente para a variável DAG. Provavelmente, houve contribuição do déficit hídrico para redução da expansão foliar, porém os diferentes níveis de água disponível não apresentaram significância estatística.

Nas plantas testemunha a redução da área foliar se deveu, possivelmente, a fatores relacionados à idade das plantas. Sabe-se que nesse estágio parte das reservas contidas nas folhas é carregada para a zona reprodutiva das plantas, denominada dreno (redistribuição) (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997), o que

está perfeitamente de acordo com a fenologia da cultura, naquelas condições de cultivo, cujas plantas já começavam, por volta dos 64 DAG, a entrar na fase de senescência. Fancelli (1988) e Coelho et al. (1990), também trabalhando com milho observaram, nesse estágio, um intenso carregamento de fotoassimilados para as espigas, que já se encontram em fase de enchimento de grãos.

Matéria seca da parte aérea (MSPA)

O acúmulo de matéria seca da parte aérea diferiu estatisticamente para estágio de desenvolvimento, cultivar e níveis de AD (Tabela 5); para os dois primeiros, esta diferença se deu a nível de 5% de probabilidade; já para os níveis de AD, a diferença foi a nível de 1% de probabilidade.

Tanto no estágio vegetativo como no reprodutivo, a AD impôs uma redução na matéria seca da parte aérea para as duas cultivares (Tabela 6).

No estágio vegetativo as plantas submetidas a níveis reduzidos de AD, independentemente de cultivar apresentaram, praticamente, os mesmos patamares de redução na produção de matéria seca, em resposta aos níveis de água disponível, diferindo da testemunha; também, as plantas das duas cultivares não diferiram entre si, em resposta aos níveis de água disponível 75 e 50% de AD. As plantas submetidas ao PMP obtiveram uma redução em torno de 50% dessa matéria seca nas duas cultivares. Pinho (1992) obteve valores semelhantes para cultivares de sorgo e milheto submetidos a um estresse hídrico terminal. Pires et al. (2003) afirmam que a concentração superficial dos nutrientes e a maior disponibilidade

Tabela 5. Resumo da análise de variância com as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), os quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para a variável matéria seca da parte aérea (MSPA) em cultivares de milho, em duas fases de crescimento

FV	GL	QM
Blocos	3	0,3426
Estádio (E)	1	11,72*
Cultivar (C)	1	11,66*
Níveis de água disponíveis (AD)	3	52,96**
Interação C x AD	3	0,6686
Interação E x C	1	2,72
Interação E x AD	3	0,1680
Interação E x C x AD	3	0,7019
Resíduo	45	189,125
Média Geral	-	106,16
CV (%)	-	12,95

ns-não significativo, * significativo a 5% e ** significativo a 1% pelo teste F

Tabela 6. Médias¹ e percentuais de matéria seca parte aérea (MSPA) para tratamentos (g planta⁻¹) em função dos estádios de desenvolvimento fenológico e cultivares

Tratamentos	Estádio Vegetativo				Estádio Reprodutivo			
	M-21	%	BR-106	%	M-21	%	BR-106	%
100% AD	132,45 a	100	147,20 a	100	135,72 a	100	133,55 a	100
75% AD	95,93 b	72,6	111,43 b	75,7	110,45 b	81,4	131,43 a	98,4
50% AD	82,38 bc	62,2	93,13 bc	63,3	97,23 bc	71,6	115,65 a	86,6
PMP	64,05 c	48,4	75,65 c	51,4	84,08 c	62,0	88,23 b	66,0
Média	93,70 b	-	106,85 a	-	106,87 a	-	117,22 a	-

¹Médias seguidas de mesma letra minúscula, na vertical, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

hídrica, resultantes da melhor conservação da umidade, favorecem o melhor desenvolvimento das culturas o que, em parte, foi observado neste estudo; já no estágio reprodutivo observou claramente que a cultivar BR-106 foi menos afetada que a M-21; desta forma, as plantas da BR-106 cultivar submetidas a 75 e 50% AD estatisticamente apresentaram comportamento semelhante às testemunhas, sem estresse; apenas no PMP as plantas reduziram significativamente suas produções de matéria seca, fato este que confirma a literatura, que cita a cultivar BR-106 como possuidora de uma elevada capacidade de adaptação às mais diferentes condições ambientais, enquanto a M-21 foi afetada pelo déficit hídrico a partir de 75% AD, indicando tratar-se de uma cultivar menos adaptada às condições de seca.

Ainda independentemente de cultivar e de níveis de AD, as plantas submetidas ao estresse hídrico no estágio vegetativo, por ocasião da colheita, aos 98 DAG, apresentaram menor produção de matéria seca que aquelas do estágio reprodutivo submetidas aos mesmos tratamentos; este resultado é verificado nos vegetais de crescimento determinado; logo, ao contrário das plantas estressadas no estágio vegetativo, as plantas estressadas no reprodutivo desenvolveram todo o seu potencial de crescimento no estágio juvenil. Bortolini et al. (2002) e Parry (2002), relatam que a MSPA é um excelente parâmetro para indicar a intensidade de crescimento da planta e que diferenças nos níveis hídricos aplicados não exercem influência no desenvolvimento e estado nutricional das plantas.

Foi transparente a acentuada redução do ciclo fenológico da cultura quando da imposição do estresse, haja vista que, pela literatura, o ciclo dessas cultivares se encontra em torno de 120 dias (Tabela 1); este ciclo, porém, tanto para as plantas com 100% AD como para as submetidas à escassez de água nos diversos níveis, foi reduzido significativamente ficando em torno de 90 dias, devido às condições restritas de espaço e à influência dos DAG sofridas pelas plantas. Segundo alguns autores (Hsiao, 1973; Marschener, 1995; Malavolta et al., 1997), o estresse hídrico reduz a produção de matéria seca e o rendimento da cultura; esta redução depende das proporções com que o estresse tenha afetado as áreas de atividade fotossintética pelo déficit imposto, e sobre a taxa e o grau de recuperação depois de cessado o estresse. Resultados observados por Mohr & Schopfer (1995) corroboram com os do presente estudo e ainda relatam que ocorrem redução do período de enchimento dos grãos, diminuição do tamanho das sementes e aceleração do processo de maturação.

Slatyer (1967) e Fancelli (1988) afirmam que a redução no nível de AD na antese pode reduzir pronunciadamente a capacidade de fertilização e, em consequência, a produção de grãos, na maioria dos cereais. O estresse age, neste período, por desidratação dos grãos de pólen e, provavelmente, o desenvolvimento do tubo polínico até os óvulos ocorre de forma reduzida e, em outros casos, pode até não ocorrer, dependendo da intensidade do estresse; já em experimentos sob condições de campo na ausência de estresse, mostraram que a acumulação e distribuição de matéria seca durante a fase reprodutiva, seguiram um padrão para duas cultivares de milho com aumento de peso do colmo e folha, durante o período

de enchimento de grãos, decrescendo em seguida devido, provavelmente, à maior demanda da espiga por fotoassimilados (Coelho et al., 1990).

Houve significância estatística com relação à variedade e tratamento porém não em relação às suas interações (Tabela 6). Resultados semelhantes foram obtidos por Panzzetti Ordonez (1990) trabalhando com a cultura do milho, quando o autor observou diferenças significativas no acúmulo de matéria seca, taxa de produção de matéria seca e índice de área foliar, em função dos diferentes regimes de irrigação.

Fancelli (1988) também observou no milho, que o estresse hídrico afeta o comprimento dos internódios pela inibição da alongação das células em desenvolvimento, ocasionando diminuição da capacidade de armazenamento de carboidratos no colmo diminuindo, assim, a matéria seca da parte aérea da planta.

Matéria seca da raiz (MSR)

Não se constatou diferença estatisticamente significativa em relação a nenhuma das variáveis abaixo analisadas, no que concerne à produção de raízes (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância com as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para a variável matéria seca da raiz (MSR) em cultivares de milho em duas fases de crescimento

FV	GL	QM
Blocos	6	3474,81 ^{ns}
Estádio (E)	1	1279,21 ^{ns}
Cultivar (C)	1	592,44 ^{ns}
Níveis de água disponíveis(AD)	3	1543,64 ^{ns}
Interação C x AD	3	108,79
Interação E x C	1	22,33
Interação E x AD	3	1847,39
Interação E x C x AD	3	934,75
Resíduo	42	1149,73
Média Geral	-	53,82
CV (%)	-	63,00

ns-não significativo

Verifica-se, a Tabela 8 que não houve significância estatística no estágio vegetativo, para nenhuma das variáveis analisadas. Opondo-se a esses resultados, Pinho (1992) trabalhando com sorgo e milheto em condições controladas de phytotron, constatou um aumento médio de 46,5% das cultivares de milheto em relação às testemunhas, enquanto nas cultivares de sorgo este aumento foi de 137,5%.

Não houve diferença significativa para crescimento de raízes nos dois estádios fenológicos estudados. Caires et al. (2002) relatam, em seus estudos, que plantas na ausência de estresse hídrico e com alto teor de matéria orgânica no solo não tiveram suas raízes reduzidas, nem sua produção, como ficou demonstrado no presente estudo.

Nas condições em que as plantas foram cultivadas em baldes com capacidade de 10 L, as duas cultivares talvez não tenham tido condições de expressar sua capacidade de resposta no tocante ao desenvolvimento dos seus sistemas ra-

Tabela 8. Médias¹ e percentuais de MSR (g por planta) para tratamentos em função dos estádios de desenvolvimento fenológico e cultivares

Tratamentos	Estádio Vegetativo				Estádio Reprodutivo			
	M-21	%	BR-106	%	M-21	%	BR-106	%
100% AD	48,45 a	100	39,26 a	100	68,80 a	100	91,60 a	100
75% AD	36,74 a	75,8	57,24 a	145,8	88,01 a	127,9	66,00 a	72,1
50% AD	42,20 a	87,1	48,04 a	122,4	36,22 a	52,6	53,96 a	58,9
PMP	43,90 a	90,6	55,79 a	142,1	41,95 a	61,0	43,01 a	47,0
Média	42,82 a	-	50,08 a	-	58,75 a	-	63,64 a	-

¹Médias seguidas de mesma letra minúscula, na vertical, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

diculares, em função dos diversos níveis de água disponível; já Kaufmann (1972) relata um decréscimo significativo no desenvolvimento do sistema radicular de uma variedade de ervilha sob estresse hídrico após a iniciação floral, sugerindo também que algumas raízes mais velhas morreram pela imposição do tratamento.

Kramer (1974) concluiu, em seus trabalhos que, apesar das características adaptativas, anatômicas e funcionais observadas na parte aérea da planta, a profundidade, a distribuição e o grau de ramificação das raízes constituem fatores de extrema importância, correlacionados ao nível de tolerância à seca por parte das plantas cultivadas.

CONCLUSÕES

1. No estágio vegetativo não ocorreu expansão da área foliar nos tratamentos aplicados.
2. No estágio reprodutivo houve redução da área foliar nos tratamentos 75% AD e em 50% AD.
3. A redução do nível de água disponível afetou negativamente a produção de matéria seca da parte aérea das plantas, nos dois estádios fenológicos da cultura.
4. Não houve resposta para a produção de matéria seca de raízes em nenhuma das variáveis analisadas.
5. A cultivar BR-106 mostrou-se mais tolerante ao déficit hídrico que a M-21, nos dois estádios fenológicos estudados.

LITERATURA CITADA

- Banzatto, D. A.; Kronka, S. do N. Experimentação agrícola. Jaboticabal: FCAV/FUNEP, 1989, 247p.
- Burke, L. L.; Gamble, P. E.; Hatfield, L. L.; Quisenberry, L. E. Plant morphological and biochemical responses to field water deficits. *Plant Physiology*, v.79, p.415-419. 1985.
- Bortolini, C. G.; Silva, P. R. F.; Argenta, G.; Forsthofer, E. L. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.373-380, 2002.
- Caires, E. F.; Barth, G.; Garbuio, F. J.; Kusman, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.1011-1022. 2002.
- Cantarella, H. Calagem e adubação do milho. In: Büll, L. T.; Cantarella, H. (ed.) *Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFOS, p.147-196. 1993.
- Carlesso, R.; Peiter, M. X.; Jadoski, S. O.; Marcolan, A. Resposta do milho irrigado submetido a diferentes frações de água disponível no solo. In: *Congresso Nacional de Milho e Sorgo*, 21, 1996, Londrina. Resumos... Londrina: IAPAR, 1996. 196p.
- Carlucci, M. V. Influência da deficiência hídrica após a iniciação floral em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). In: *Reunião Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 1, 1987, Londrina. Resumos... Londrina: IAPAR, 1987. p.13.
- Coelho, A. M.; França, G. E.; Magalhães, P. C. Acumulação e distribuição de matéria seca em duas cultivares de milho durante a fase reprodutiva. In: *Congresso Nacional de Milho e Sorgo*, 18, 1990, Vitória. Resumos... Vitória: EMCAPA, 1990. p.39. Documento n.65
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual técnico para avaliação nutricional de alimentos e orientações para atividades em laboratório de nutrição animal. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Laboratório de Nutrição Animal, 1997. 8p.
- EPACE M-21. Milho precoce para o Ceará. Fortaleza: Imprensa Oficial do Ceará, 1994. 6p.
- Fancelli, A. L. Fenologia do milho. Piracicaba: ESALQ/USP. 1988.
- Ferreira, L. G. R. Fisiologia vegetal: Relações hídricas. Fortaleza: UFC, 1992. 138p.
- Gomes, F. P. Curso de estatística experimental. 5.ed. São Paulo: Nobel. 1985.
- Hsiao, T. C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, v.24, p.519-570, 1973.
- Hsiao, T. C.; Young, E.; Fereres, E.; Henderson, D. W. Water stress, growth and osmotic adjustment. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society London. Series B, Biological Sciences*, v.273, n. 927, p.479-500, 1976.
- Kaufmann, M. R. Water deficits and reproductive growth. In: Kozlowski, T.T. (ed.) *Water deficits and plant growth*. New York: Academic Press, 1972. 120p.
- Kramer, P. J. Fifty years of progress in water relations research. *Plant Physiology*, v.54, p.463-471, 1974.
- Kramer, P. J. Water deficits and plant growth. In: *Water relations of plants*. Oxford: Academic Press, 1983. p.343-389.
- Machado, E. C.; Pereira, A. R. Determinação dos coeficientes de crescimento e manutenção em raízes e parte aérea de milho e arroz. In: *Reunião Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 1, 1987, Londrina. Resumos... Londrina: IAPAR, 1987. p.90.

- Magalhães, A. C. N. Fotossíntese, particionamento de assimilados e crescimento de plantas sob condições de estresse: com destaque para o milho. In: Simpósio Internacional sobre Estresse Ambiental, 1, 1992, Belo Horizonte. O milho em perspectiva. Resumos... Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS. México: CIMMYTIUNDP, 1995. p.195-221.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A.de. Avaliação do estado nutricional de plantas, princípio e aplicações. 2.ed. rev. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press Limited, 1995. 889p.
- Mohr, H.; Schopfer, P. Plant physiology. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 629p.
- Muchow, R. C.; Sinclair, T. R. Water deficit effects on maize yields modeled under current and "greenhouse" climates. *Agronomy Journal*, v.83, p.1052-1059, 1991.
- Panzetti Ordonez, G. A. Aplicação da termometria infravermelha na irrigação das culturas do milho (*Zea mays* L.) e do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Viçosa: UFV, 1990. 61p. Dissertação Mestrado
- Parry, M. M. Épocas de preparo de solo e adubações para culturas de subsistência sob cobertura morta. Lavras: UFLA, 2002. 170p. Tese Doutorado
- Pinho, J. L. N. de. Étude comparée des mecanismes physiologiques de la résistance à la sécheresse de cultivars de mil (*Pennisetum americanum* L.) et de sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] sensibles ou résistant es. Paris: Université Paris VII, 1992. 158p. Tese Doutorado
- Pires, F. R.; Souza, C. M.; Queiroz, D. M.; Miranda, G. V.; Galvão, J. C. C. Alteração de atributos químicos do solo e estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calagem em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.121-131. 2003.
- Raij, B. van; Lani, P. R.; Quaggio, J.A.; Pettinelli Júnior, A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.101-108, 1998.
- Saint-Guily, A. Etude comparative des effets d'une contrainte hydrique progressive sur les parametres hydriques de trois variétés de mil (*Pennisetum americanum* L.). Paris: Université Pierre et Marie Curie, DEA, 1985. 46p.
- Silva, J. B. C.; Novais, R. F.; Sediyaama, C.S. Identificação de genótipos de sorgo tolerantes à toxicidade de alumínio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.7, n.1, p.77-83. 1984.
- Sinclair, T. R.; Bennett, J.M.; Muchow, R.C. Relative sensitivity grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. *Crop Science*, v.30, n.3, p.690-693. 1990.
- Slatyer, R. O. Plant water relationship. Burlington: Academic Press, 1967. 186p.
- Sutcliffe, J. F. As plantas e a água. São Paulo: EPU/IED/USP, 1980. 126p.
- Volkenburgh, E.; Boyer, J. Inhibitory effects of water deficit on maize leaf elongation. *Plant Physiology*, v.77, n.1, p.190-194, 1985.