

CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE MILHO (*Zea mays* L.) EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE POTÁSSIO E ESTRESSE HÍDRICO¹

Elizabeth Ferreira

Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás - UFG - Goiânia, GO.

Leonardo Teodoro Büll

Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP - Botucatu, SP

1 RESUMO

Foi conduzido um experimento em vasos, em casa de vegetação telada, com o objetivo de avaliar o efeito de variações nas doses de potássio e nos níveis de estresse hídrico sobre as características fisiológicas, absorção de nutrientes e desenvolvimento de plantas de milho. Da análise geral dos resultados obtidos pôde-se inferir que: as plantas de milho, quando se encontravam sob déficit hídrico, apresentaram baixos valores de potencial água na folha (Ψ) e teor relativo de água na folha (TRA) e alta resistência estomática (R_s). O potássio possibilitou a manutenção de maior potencial hídrico e melhor controle estomático, mas não influenciou o TRA; o estresse hídrico somente influenciou a concentração foliar de potássio na dose intermediária da adubação potássica. O teor foliar dos demais nutrientes não sofreu influência da deficiência hídrica; os níveis de estresse hídrico utilizados não afetaram a área foliar, nem a produção de matéria seca; os tratamentos que receberam a maior dose de potássio produziram maior quantidade de raízes, sugerindo que plantas sob esta condição utilizariam melhor a água do solo; a eficiência do uso da água não sofreu influência do estresse hídrico, entretanto aumentou com a elevação da adubação potássica.

UNITERMOS: estresse hídrico, potássio, milho

¹ -Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor para obtenção do grau de Mestre em Agronomia - área de Irrigação e Drenagem, pela Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP/Botucatu, SP.

FERREIRA, E., BÜLL, L. T.

Hidric stress and potassium level acting on physiological characteristics, nutrient uptake and development of corn plants (*Zea mays*, L.)

2 ABSTRACT

A pot experiment was carried out, in screened greenhouse, with the aim to evaluate the effect of the variation of potassium levels and water stress levels on physiological characteristics, nutrient uptake and development of corn. From the general analysis of the obtained results, the following could be inferred: corn plants under water deficit, presented low values of water potential in leaves (Ψ), and relative water content of leaves (CWR), and high stomatal resistance (Rs). Potassium permitted maintenance of higher water potential and better stomatal control, however without influence on CWR; water stress only influenced leaf concentration of potassium in the intermediate potassium levels. Other nutrients in leaves were not influenced by the water deficiency; water stress level neither affected leaf area, nor the production of dry matter; treatments with received the higher potassium level produced more roots, suggesting that plants under these conditions better utilized soil water; water utilization efficiency was not influenced by water stress, nevertheless it increased with the intensification of potassium levels.

KEYWORDS: water stress, potassium, maize

3 INTRODUÇÃO

O estresse de água nas plantas é um dos fatores mais limitantes para a produção das culturas em todo o mundo (Mengel & Kirkby, 1987). Em condições de estresse hídrico severo o processo reprodutivo é afetado através de seu efeito no desenvolvimento floral e fertilização o que concorre para a redução global da cultura. A ocorrência de estresse hídrico em períodos de maior sensibilidade (críticos) da cultura do milho provavelmente afeta os processos ligados à polinização e fecundação das flores, acarretando decréscimos acentuados e irreversíveis de rendimento (Arnon, 1975; Gomes & Karazawa, 1982; Mengel & Kirkby, 1987; Costa et al., 1988; Medeiros et al., 1991).

Turner (1975), fazendo comparações simultâneas do comportamento estomatal, estado de água e transpiração do milho a altos e baixos potenciais água no solo, mostrou

que o fechamento dos estômatos, como resultado do déficit interno de água na planta tem um efeito direto sobre a transpiração da cultura

Apesar de não fazer parte de nenhum composto dentro da planta, o potássio é importante em inúmeros processos bioquímicos envolvidos com a síntese e metabolismo de carboidratos, como a fotossíntese e respiração. Entre suas funções é destacada a importância do potássio nos processos que controlam o uso da água pela planta (Büll, 1993).

Uma elevada taxa de absorção de K pelas raízes diminui o potencial osmótico das células, e isto induz a absorção de água. A absorção de água pelas raízes e a capacidade da planta para utilizar a água do solo depende, então, do estado nutricional de potássio da planta (Mengel & Kirkby, 1980). Na região dos cerrados os veranicos geralmente coincidem com o estágio de floração e desenvolvimento de grãos das culturas, sendo responsáveis por grandes quedas na produtividade.

Resultados de pesquisa têm demonstrado que a cultura do milho suporta curtos períodos de estresse e, quando bem nutridas em potássio, apresentam menor queda na produção. No entanto, para as condições brasileiras, há carência de resultados que correlacionem a severidade da seca com os níveis de adubação potássica.

O presente trabalho teve por objetivo determinar o efeito da adubação potássica sobre características fisiológicas, absorção de macronutrientes e desenvolvimento de plantas de milho submetidas a um ou dois estresses hídricos sucessivos, nos estádios de máximo desenvolvimento vegetativo e no pendoamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo consistiu na instalação de um ensaio, com plantas de milho cv. Brascalb XL678, em casa de vegetação telada, em vasos plástico contendo 8 Kg de TSA (peneira 4mm). O solo utilizado no enchimento dos vasos foi classificado como Latossolo Roxo álico, textura argilosa (Carvalho et al., 1983), contendo 151, 329 e 504 g.kg⁻¹, respectivamente, de areia, silte e argila, e densidade aparente de 1,42 g.cm⁻³.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial, com três repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação de três doses de potássio na forma de KCl (0, 90 e 180 mg.dm⁻³, respectivamente, K₀, K₁ e K₂) e três condições de estresse hídrico, sendo plantas sem estresse (S₀), plantas que sofreram 1 estresse hídrico aos 48 dias após a emergência (S₁) e plantas que sofreram 2 estresses hídricos, aos 48 e 73 DAE (S₂). A avaliação dos estádios de desenvolvimento da planta foi feita seguindo metodologia de Gomes & Karazawa (1982), sendo que as épocas 48 e 73 DAE corresponderam, respectivamente, aos estádios E_{2,5} (plantas apresentavam 9 a 10 folhas desenvolvidas) e E₄ (início do pendoamento). A coleta das plantas foi feita em épocas distintas sendo: S₀ aos 48, 52, 73 e 90 DAE, S₁ aos 52, 73 e 90 DAE e S₂ aos 73 e 90 DAE.

O solo foi incubado com 4,77 tha⁻¹ (19g.vaso⁻¹) de calcário dolomítico (PRNT=95) e as dosagens de potássio, 40 dias antes da semeadura. Após este período cada

vaso foi suplementado com 200 mg.kg^{-1} ($20,4 \text{ g/vaso}$) de superfosfato simples. A adubação nitrogenada de plantio foi feita na dose de 40 mg.kg^{-1} ($1,6 \text{ g SA/vaso}$) e as seis adubações nitrogenadas de cobertura, somaram 240 mg.kg^{-1} de SA. A aplicação de micronutrientes (Waugh & Fitts, 1966), na forma de solução aquosa, foi feita aos 20, 30, 38, 54, 65 e 74 dias após a emergência. As análises químicas iniciais e após calagem e adubação do solo estão expressas na Tabela 1.

No dia 17/09/1991 foram semeadas 5 sementes de milho por vaso, e a emergência (100%) ocorreu depois de seis dias. O desbaste, deixando-se uma planta por vaso foi feito 16 dias após a emergência, quando a planta apresentava 3 folhas totalmente desenvolvidas.

O controle do teor de água no solo por vaso foi feito pelo método gravimétrico. Todos os vasos foram irrigados a potenciais máximos de água no solo de $-0,012 \text{ MPa}$ até o estágio em que foi aplicado o estresse hídrico. Durante o estresse hídrico os potenciais de água no solo atingiram valores inferiores a $-1,5 \text{ MPa}$, conforme a curva característica de água no solo. A superfície dos vasos foi coberta com um filme plástico para evitar evaporação. Semanalmente, a partir do desbaste, foi feita uma correção do peso de cada vaso, em razão do ganho aproximado de matéria fresca por parte das plantas.

As determinações fisiológicas foram feitas em folhas fisiologicamente maduras, entre 8 e 10 horas da manhã, em uma mesma posição relativa ao ponto de crescimento, eliminando possíveis alterações na resistência de difusão devido à idade. A resistência difusiva ao vapor d'água (R_s) na face inferior da folha (Sanchez-Diaz & Kramer, 1971), foi determinada por um porômetro de equilíbrio constante DELTA T-Services AP-3. Imediatamente após as leituras de R_s foi avaliado o potencial água do xilema (Ψ) utilizando-se uma câmara de pressão (Scholander et al., 1965), através do equipamento Plant Moisture Tensiometer DIK-7000. Para a determinação do teor relativo de água na folha (TRA) foi utilizada a técnica descrita por Klar (1984).

Após feitas todas as determinações fisiológicas, a mesma folha foi coletada e os teores de macronutrientes foram determinados seguindo metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

Aos 90 dias após emergência a área foliar e a matéria seca dos componentes da planta foram determinados. A área foliar foi feita no medidor AAM-8 HAYASHI DENKOH. A matéria seca de folhas, colmos, raízes, inflorescências e espigas (estufa 70° C) foi expressa em gramas.

A eficiência do uso da água aos 90 DAE foi avaliada dividindo-se a produção de matéria seca pelo consumo de água e expressa em g.dm^{-3} .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Determinações fisiológicas

Analisando a Tabela 2 verifica-se que o potencial água na folha sofreu influência dos níveis de estresse hídrico, sendo as médias significativamente diferentes entre si.

Independente da dose de potássio utilizada, nota-se que quando as plantas se encontravam sob um (C2S1) ou dois (C3S2) estresses hídricos, apresentaram médias de potencial água na folha de -1,51 e -1,81 MPa, respectivamente, significativamente maiores que as demais médias. É importante lembrar que estes valores de potencial água foram resultado de períodos de défices hídricos aplicados, estando portanto, as plantas nesta fase murchas e com potenciais água no solo diferente dos demais tratamentos. Valores semelhantes a estes foram encontrados por Westgate & Grant (1989), quando plantas de milho foram submetidas ao estresse hídrico, após quatro dias sem rega alcançaram potenciais água na folha de -1,5 MPa, quando este ocorreu na antese e -1,6 MPa no enchimento de grãos, levando estes autores a concluir que défices de água durante estes estádios produzem efeitos marcantes no desenvolvimento reprodutivo do milho. O estudo mostrou que na antese o potencial água no ovário é afetado diretamente por défices de água na planta, enquanto no enchimento de grãos este não varia, independente do estágio de água na planta. No presente trabalho, esta característica não foi medida, mas pode-se deduzir que quando a planta sofreu dois estresses (C₃S₂), desenvolveu potenciais mais negativos, garantindo assim o fluxo de água para o ovário.

A influência que o potássio exerce sobre os componentes do potencial água na planta tem sido estudada por muitos pesquisadores (Arneke, 1981; Maurya & Gupta, 1984; Pier & Berkowitz, 1987; Lindhauer, 1989). Nota-se, pela Tabela 3, que apesar de não ter havido diferenças entre os tratamentos, independente dos níveis de estresse e coletas utilizados, o potencial água na folha foi maior (menos negativo) nas plantas que não receberam adubação potássica (K₀) e diferiu das doses 90 e 180 mg.dm⁻³ (K₁ e K₂).

Quando as plantas foram irrigadas durante todo o ciclo (S₀), houve uma tendência do potencial água na folha ser influenciado pela adubação potássica nas coletas 1 e 3, conferindo valores mais altos para K₀, diferentes de K₁ e K₂. Não houve diferença no potencial água na folha nas coletas 2 e 4 para os três níveis de potássio aplicados. A coleta 2 foi realizada em dia nublado, com baixa demanda evaporativa, conduzindo, provavelmente, a valores semelhantes no potencial água, independente do nível de potássio aplicado. O exposto também é válido para a coleta 2, com plantas sob estresse hídrico.

A coleta 4 foi feita em dia ensolarado, e as condições de umidade do solo foram semelhantes para todos os tratamentos. Nota-se que o potencial água na folha sofreu alguma influência da adubação potássica utilizada somente quando as plantas tinham sido submetidas a dois estresses hídricos, proporcionando valores maiores de Ψ nas plantas deficientes em potássio, significativamente diferentes de K₁ e K₂.

O teor relativo de água na folha (TRA) foi afetado pelos níveis de estresses hídricos aplicados, sendo as médias diferentes entre si, porém, as doses de potássio não acarretaram diferenças nesta característica.

As plantas de milho somente tiveram seus valores de TRA alterados quando estas encontravam-se sob déficit hídrico imposto, ou seja, os níveis de coleta C2S1 e C3S2 foram significativamente diferentes entre si, apresentando valores de 70,76 e 62,74%, respectivamente, e diferiram dos demais tratamentos, quando as plantas encontravam-se irrigadas (Tabela 2).

Sanchez-Diaz & Kramer (1971), encontraram valores de $\Psi = -1,0$ MPa e TRA = 70% nas folhas de plantas de milho após 4 dias sem irrigação, e de $\Psi = -1,28$ MPa e TRA

= 55% quando estavam 8 dias sob déficit hídrico. Quando as plantas foram novamente irrigadas ambos os valores mudaram rapidamente mas, em dois dias não tinham atingido seus níveis originais. No presente trabalho, as plantas que sofreram um estresse hídrico apresentaram valores de -1,51 MPa e 70,76% para Ψ e TRA, respectivamente, e de -1,81 e 62,74% quando submetidas a dois estresses. Quando as plantas foram irrigadas observou-se visualmente que dentro de três horas as folhas estavam novamente túrgidas mas, não foi realizada a medição das características fisiológicas. É importante lembrar que as plantas que sofreram défices hídricos sucessivos apresentaram valores semelhantes aos dos encontrados pelos autores citados, quando as plantas foram submetidas a oito dias de déficit hídrico.

As doses de potássio aplicadas não alteraram os valores de TRA encontrados na folha, sendo estes estatisticamente iguais. Estes resultados diferem dos de Andersen et al. (1992b), que encontraram boa correlação entre o teor de água na parte aérea e a concentração de potássio na matéria seca, quando níveis de 50, 125 e 200 kg.ha⁻¹ de KCl foram aplicados em plantas de cevada. Esta correlação não foi encontrada no presente trabalho.

Observa-se ainda pela Tabela 2 que, quando dois níveis de estresse (S_2) foram aplicados, a resistência difusiva ao vapor d'água (R_s) foi significativamente diferente dos níveis S_0 e S_1 . Cabe ressaltar, porém, que no S_1 não houve coleta de plantas estressadas (C_2), devido ao tempo nublado no dia das medições, portanto, as médias de S_0 e S_1 se igualaram.

As doses de potássio utilizadas influenciaram significativamente a resistência estomática, sendo que as plantas deficientes apresentaram valores maiores e diferentes das doses de 90 e 180 mg.dm⁻³. As Figuras 1 (a e b) apresentam o efeito dos níveis de potássio na resistência difusiva ao vapor d'água na folha, aos 73 e 90 DAE, quando as plantas foram submetidas a diferentes níveis de água no solo. Na interpretação da Figura 1 (a) ressalta-se que os níveis de estresse hídrico S_0 e S_1 estavam iguais, pois as plantas encontravam-se irrigadas, e diferentes de S_2 , onde as plantas estavam sob déficit hídrico imposto, e os valores de R_s são iguais com uma média de 11,91s.cm⁻¹. Pode-se observar por esta figura que quando não se usou KCl a R_s não sofreu variação significativa com a aplicação de dois estresses hídricos, no entanto, nas doses K_1 e K_2 a R_s aumentou significativamente. Isto pode ser interpretado como uma regulação mais eficiente dos estômatos das plantas bem nutridas em potássio quando se restringe o fornecimento de água. Lindhauer (1989), encontrou que a condutância estomática da folha de plantas de feijão bem nutridas em K (250 kg.ha⁻¹), foi significativamente reduzida durante um período de seca, enquanto aumentou nas plantas deficientes (50kg.ha⁻¹).

A Figura 1b mostra os valores de R_s aos 90 dias após emergência quando as plantas encontravam-se irrigadas. Nota-se que apenas as plantas que não receberam potássio (K_0) apresentaram altos valores de R_s , significativamente diferentes de K_1 e K_2 . Esta medição final confirma que as plantas deficientes em potássio não possuem um controle estomático eficiente.

5.2. Absorção de nutrientes

Após a avaliação estatística dos tratamentos, verificou-se que quando não se aplicou potássio no solo, o teor foliar deste nutriente não sofreu influência dos níveis de estresse hídrico e foi estatisticamente igual em todas as coletas.

O efeito que o estresse hídrico exerceu sobre os teores foliares de K das plantas que receberam suplementação potássica está representado nas Figuras 2 (a e b). Verifica-se pela Figura 2a que quando as plantas foram constantemente irrigadas, a aplicação de 90mg.dm^{-3} de K no solo acarretou numa maior concentração deste nutriente na folha, comparado aos teores observados nas plantas que sofreram um ou dois défices hídricos que foram estatisticamente iguais entre si e diferentes significativamente de S_0 . Estes resultados confirmam a influência que a umidade do solo exerce sobre a absorção de potássio, afetando as taxas de difusão deste nutriente no solo e são comparáveis aos de Mackay & Barber (1985).

Ainda pela Figura 2a verifica-se que os níveis de estresse hídrico não exerceram efeito sobre a absorção de potássio pela planta quando 180mg.dm^{-3} de K foi aplicado ao solo. Observa-se que esta maior dosagem de potássio no solo garantiu um teor de potássio na folha nos tratamentos que sofreram défice, semelhante ao tratamento irrigado, e foram estatisticamente iguais entre si. Com 180mg.dm^{-3} de K, a deficiência hídrica não influenciou a absorção de K em função da concentração ser mais elevada, suplantando os efeitos negativos da falta de água, ou seja, a alteração no processo da difusão pela falta de água foi compensada pela dose mais elevada. Esta avaliação coincide, em parte, com observações feitas por Almeida et al. (1985), que recomendaram altos potenciais de água no solo, por propiciar maior absorção de nutrientes em plantas de milho até 42 DAE, e esta condição foi mantida no presente trabalho. Porém, discorda de Bassoi (1990) que encontrou uma diferença bem acentuada nas concentrações de K entre tratamentos irrigados e não irrigados, aos 49 DAE, quando se iniciou um período de menor disponibilidade de água no solo, em condições de campo.

A avaliação exposta acima pode também ser observada na Figura 2a, quando as plantas contavam 90 dias após emergência. Apesar dos níveis de estresse não se diferirem estatisticamente em qualquer dose de K, percebe-se que a tendência dos resultados foi semelhante àquelas obtidas aos 73 DAE, valendo lembrar que as análises foram feitas em plantas diferentes.

As plantas submetidas ao estresse hídrico enrolaram as folhas, mecanismo usado pelas plantas para diminuir sua superfície de perda de água, nos tratamentos adubados com potássio. Observações semelhantes foram feitas por Bataglia et al. (1985) em plantas bem nutridas em N, quando comparadas às deficientes. As folhas de plantas deficientes em K não se enrolaram, mas estas apresentaram sintomas evidentes de estresse como o murchamento dos colmos.

Os tratamentos de potássio aplicados condicionaram teores foliares médios diferentes estatisticamente entre si de $0,23$; $0,74$ e $1,42\text{g.100g}^{-1}$ de K para K_0 , K_1 , e K_2 , respectivamente, sendo estes níveis considerados críticos, principalmente, para K_0 e K_1 , e adequado para K_2 , quando comparado às concentrações críticas de $1,1$ a $1,5\text{mg.100g}^{-1}$ encontrados por Peaslee & Moss (1966), em condições de vaso. Aos 48 DAE as plantas deficientes em potássio (K_0) eram menores em comprimento e diâmetro de colmo, mas não apresentavam clorose marginal. A clorose marginal apareceu aos 53 DAE nos tratamentos deficientes em potássio e que tinham recebido estresse hídrico. Esta

observação não é comentada por outros autores. Aos 76 DAE todas as plantas dos tratamentos que não tinham recebido potássio (irrigadas ou que sofreram estresse hídrico) apresentavam-se visualmente deficientes em K e foram tutoradas para impedir o acamamento. A clorose marginal também foi observada aos 70 DAE nas folhas inferiores da plantas que receberam 90 mg.dm⁻³ potássio, e nos tratamentos que receberam 180 mg.dm⁻³ de K não foi detectada deficiência visual.

O estresse hídrico não afetou a absorção de nitrogênio pelas plantas de milho e estes resultados são comparáveis aos de Jenne et al. (1958). Independente dos níveis de coleta ou estresse hídrico utilizados, os tratamentos K₀, K₁ e K₂ apresentaram concentrações foliares de N, respectivamente, de 2,48; 2,07 e 2,13 g.100g⁻¹. Pôde ser observado que a concentração foliar de nitrogênio das plantas deficientes em potássio (K₀) foi maior e significativamente diferente dos tratamentos K₁ e K₂. Esse fato deve ter ocorrido devido ao menor tamanho da plantas deficientes em potássio, elevando-se o teor de N no tecido foliar.

O teor foliar de cálcio não sofreu influência do estresse hídrico quando não houve suplementação potássica (K₀), sendo este estatisticamente igual em todas as coletas. Quando se aplicou potássio no solo, 90 ou 180 mg.dm⁻³, houve diferença na concentração foliar de cálcio entre as coletas, mas o estresse hídrico não influenciou este valor dentro de uma mesma coleta. Almeida et al. (1985) também não observaram diferenças significativas na absorção deste íon trabalhando com diversas faixas de potencial matricial, à exceção de -0,03 MPa a -1,5 MPa, onde a absorção foi menor.

A adubação potássica diferenciada resultou em teores de cálcio na folha de 0,63; 0,51 e 0,45 g.100g⁻¹, respectivamente, para os tratamentos K₀, K₁ e K₂. Alves et al. (1988) constataram que as quantidades de Ca e Mg contidas nas folhas de sorgo sacarino variaram em função da adubação potássica efetuada, havendo leve estímulo sobre a acumulação até um pouco além da dose de 50 kg/ha de K₂0.

A absorção de magnésio não foi afetada pelos tratamentos de estresse hídrico e estes resultados são comparáveis aos encontrados por Jenne et al. (1958) e Almeida et al. (1985).

As aplicações das doses de 0, 90 e 180 mg.dm⁻³ de K condicionaram teores médios de magnésio na folha de 0,87; 0,54 e 0,38 g.100g⁻¹, respectivamente, significativamente diferentes entre si, independente do estresse hídrico aplicado. As concentrações foliares de magnésio sempre decresceram com o aumento da dose de K no solo, exceto na terceira coleta onde plantas irrigadas constantemente apresentaram valores de 0,74; 0,57 e 0,45 para K₀, K₁ e K₂, respectivamente. Os valores encontrados estiveram sempre acima do nível crítico, que, segundo Peaslee & Moss (1966), está em torno de 0,15 g.100g⁻¹. A variação da quantidade de magnésio na folha foi semelhante à de cálcio, aumentando a absorção quando não se utiliza potássio no solo e diminuindo quando o nutriente é utilizado. Tal observação é confirmada por Alves et al. (1988), Lindhauer (1989) e Krumm et al. (1990).

A concentração de fósforo não sofreu influência dos estresses hídricos aplicados, exceto quando as plantas não receberam potássio, onde houve diminuição do teor de fósforo na folha com a aplicação do estresse hídrico. Bassoi (1990) também não encontrou diferenças na absorção de fósforo pelas plantas de milho nos tratamentos irrigados e não irrigados.

As plantas que receberam potássio (90 ou 180 mg.dm⁻³ de K) tiveram teores de fósforo na folha significativamente menores do que as que não receberam potássio no solo (K₀). Assim, a exemplo do N, a maior concentração de fósforo nas folhas das plantas deficientes em potássio deve ter ocorrido devido ao menor tamanho destas plantas. A concentração média de 0,18 g.100g⁻¹, para as plantas adubadas com potássio, foi semelhante às encontradas por Jenne et al. (1958) e Almeida et al. (1985).

Quando não se usou potássio a concentração média de enxofre na folha foi de 0,23 g.100g⁻¹, sendo maior e significativamente diferente dos teores encontrados quando 90 mg.dm⁻³ (0,17 g.100g⁻¹) ou 180 mg.dm⁻³ (0,15 g.100g⁻¹) de K foi utilizado, que se igualaram estatisticamente. Os valores encontrados neste experimento são menores que os encontrados por Andrade et al. (1975), porém assemelham aos resultados encontrados por Bassoi (1990).

Bassoi (1990) verificou que a acumulação de S pela parte aérea do milho foi influenciada pela irrigação a partir de 59 DAE, o que discorda dos resultados encontrados neste trabalho, onde o déficit hídrico, dentro de uma mesma coleta não influenciou a absorção de S pela planta.

5.3. Características biométricas

Pode-se verificar pela Tabela 4 que o estresse hídrico não afetou a área foliar da cultura do milho. Aos 90 dias após a emergência as plantas apresentavam 19 folhas desenvolvidas e a área foliar neste estágio de desenvolvimento foi em média 25% menor do que a encontrada por Machado et al. (1982), em condições de campo. Apesar do déficit hídrico ter sido intenso este não foi suficiente para causar reduções na área foliar da cultura e a discrepância entre este trabalho e outros deveu-se provavelmente, à intensidade de estresse ou à fatores intrínsecos da variedade.

Ainda pela Tabela 4, observa-se que as plantas que não receberam potássio apresentaram área foliar 42,3 %, em média, menor e significativamente diferente de K₁ e K₂, que se igualaram.

A matéria seca total, determinada pelo somatório da matéria seca de raízes, colmos, folhas, espigas e inflorescências, não sofreu influência dos estresses hídricos aplicados. Como já foi comentado para a área foliar, pode-se observar pela Tabela 4 que os tratamentos de estresse hídrico não causaram reduções na produção e estes resultados diferem dos observados por outros autores (Classen & Shaw, 1970; Lewis et al., 1974). Ainda pela Tabela 4 pode-se observar que as plantas que não foram adubadas com potássio apresentaram a produção de matéria seca 171% menor que os tratamentos K₁ ou K₂, que foram estatisticamente iguais entre si.

A Tabela 5 mostra que a matéria seca das várias partes da planta não foi afetada pelo estresse hídrico. No entanto, todas as partes da planta sofreram influência das doses de K aplicadas, exceto, as inflorescências. Pode-se verificar, ainda, que as doses de K aplicadas, 90 ou 180 g.dm⁻³, estimularam a produção semelhante de matéria seca, sendo estatisticamente iguais entre si e maiores que K₀, exceto com relação à produção de raízes, quando a aplicação de 180 mg.dm⁻³ de K estimulou maior produção de raízes. É interessante ressaltar que, em média, as raízes foram responsáveis por

aproximadamente 36 % da matéria seca, as folhas por 27%, os colmos por 19% e as espigas por 15%. Considerando apenas a parte aérea os colmos contribuíram com 43%, as folhas com 30% e as espigas com 23% da matéria seca e estes resultados são comparáveis aos de Machado et al. (1982).

5.4. Eficiência do uso da água

Pela Tabela 4 pode-se verificar que o potássio aplicado exerceu influência sobre a eficiência do uso da água da cultura e esta aumentou significativamente quando foi aumentada a dose de aplicação do potássio. Estes resultados estão de acordo com Andersen et al. (1992a).

A eficiência do uso da água não sofreu influência significativa dos tratamentos de estresse hídrico pois estes não causaram redução no tamanho das plantas, apesar do consumo de água ter diminuído significativamente quando dois estresses foram aplicados (Tabela 4). Estas observações não coincidem com as de Robins & Domingos (1953) e COSTA et al. (1988), no entanto estes autores encontraram diferenças significativas no tamanho das plantas quando se limitou o fornecimento de água. Conforme citado, no presente trabalho o estresse hídrico não afetou a produção de matéria seca das plantas.

6 CONCLUSÕES

Os níveis de estresse hídrico utilizados não afetaram a área foliar, nem a matéria seca, deduzindo-se que a cultivar estudada suportaria estresses hídricos de maior intensidade e/ou duração.

A produção de matéria seca das várias partes da planta foi igual para os tratamentos que receberam potássio, exceto para as raízes, que apresentaram maior produção com a elevação da dose de potássio aplicada, sugerindo que estas plantas utilizariam melhor a água do solo, o que ajudaria a diminuir o efeito do estresse hídrico por ocasião dos veranicos.

A eficiência do uso da água não sofreu influência do estresse hídrico, entretanto aumentou com a elevação da adubação potássica.

Tabela 1. Caracterização química do solo.

Trata-mento	pH em H ₂ O	(H+Al)	K	Ca cmol _c .	Mg dm ⁻³	SB	CTC	V (%)
T	4,8	6,57	0,03	0,16	0,04	0,23	6,80	3,4
K ₀	5,5	4,16	0,05	2,10	1,47	3,62	7,78	47

Cont.

K ₁	5,5	4,16	0,26	2,10	1,47	3,83	7,79	48
K ₂	5,5	4,16	0,52	2,10	1,47	4,09	8,25	50

T= Testemunha, solo original; K₀= solo que recebeu calagem; K₁= solo que recebeu calagem e 90 mg.dm⁻³ de K; K₂= solo que recebeu calagem e 180 mg.dm⁻³ de K.

Tabela 2. Valores de potencial água (Ψ), teor relativo de água (TRA) e resistência difusiva ao vapor d'água (Rs) encontrados nas folhas de plantas de milho, durante o experimento.

Tratamento	Ψ (-MPa)	TRA (%)	Rs (s/cm)
C ₁ S ₀	1,05 bc	91,15 a	1,49 d
C ₂ S ₀	0,67 c	89,60 a	-
C ₃ S ₀	0,95 bc	93,63 a	3,59 bc
C ₄ S ₀	0,84 bc	93,01 a	3,51 bc
C ₂ S ₁	1,51 ab	70,76 b	-
C ₃ S ₁	1,01 bc	93,48 a	3,04 c
C ₄ S ₁	0,82 bc	94,97 a	3,16 c
C ₃ S ₂	1,81 a	62,74 c	11,91 a
C ₄ S ₂	0,83 bc	92,86 a	3,83 b
d.m.s.	0,73	7,90	0,65

Tabela 3. Potencial água na folha (-MPa), encontrados na folha de plantas de milho, em função dos níveis de potássio, durante o experimento.

Coletas ©	K ₀	K ₁	K ₂
C ₁ S ₀	0,85	1,11	1,19
C ₂ S ₀	0,62	0,55	0,83
C ₃ S ₀	0,50	1,16	1,19
C ₄ S ₀	0,71	0,84	0,95
C ₂ S ₁	1,41	1,55	1,57
C ₃ S ₁	0,66	1,23	1,13
C ₄ S ₁	0,92	0,83	0,71
C ₃ S ₂	1,52	1,95	1,98
C ₄ S ₂	0,72	0,89	1,07
Média de K	0,86	1,12	1,18
d.m.s.	K=0,94		

Tabela 4. Água consumida, matéria seca total, eficiência do uso da água e área foliar da cultura do milho, aos 90 DAE, calculada com a média de 3 repetições.

Tratamento	Água consumida (dm ³)	MS Total (g)	EUA (g.dm ⁻³)	A Foliar (cm ²)
K ₀ S ₀	18,72	71,1	4,12	4575
K ₀ S ₁	19,27	84,3	4,34	4611
K ₀ S ₂	16,10	79,8	4,70	5012
Média de K ₀	18,33 b ⁽¹⁾	80,4 b	4,40 c	4377 b
K ₁ S ₀	27,74	223,2	8,02	6479
K ₁ S ₁	27,32	202,0	7,39	5968
K ₁ S ₂	25,66	204,7	7,98	6216
Média de K ₁	26,91 a	209,7 a	7,80 b	6221 a
K ₂ S ₀	27,58	220,0	7,98	6064
K ₂ S ₁	27,08	238,0	8,79	6307
K ₂ S ₂	25,73	220,7	8,58	6333
Média de K ₂	26,79 a	226,2 a	8,45 a	6235 a
Média de S ₀	24,68 a	173,1	6,70	5707
Média de S ₁	24,55 a	174,8	6,85	5626
Média de S ₂	22,79 b	168,4	7,09	5854
Média	24,01	172,1	6,88	5729
d.m.s.	1,29	27,1	0,31	484

(1) -Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 5. Produção de matéria seca de: raízes (MSR), folhas (MSF), colmos (MSC), espigas (MSE) e inflorescências (MSI) da plantas de milho aos 90 DAE, expressa em gramas.

Tratamento	MSR	MSF	MSC	MSE	MSI
K ₀ S ₀	21,07	27,61	22,43	2,01	4,00
K ₀ S ₁	25,24	29,64	22,56	3,51	3,34
K ₀ S ₂	24,24	27,91	19,74	5,14	3,16
Média de K ₀	23,52 c ⁽¹⁾	28,39 b	21,58 b	3,55 b	3,50
K ₁ S ₀	75,74	38,97	64,16	38,19	5,82
K ₁ S ₁	67,51	34,93	57,25	38,34	4,60
K ₁ S ₂	76,10	35,52	53,52	33,77	6,07
Média de K ₁	73,12 b	36,47 a	58,31 a	36,77 a	5,50
K ₂ S ₀	80,84	34,83	58,47	41,35	5,58
K ₂ S ₁	96,16	36,03	66,82	33,44	5,98

Cont.

K ₂ S ₂	91,19	34,72	57,45	34,24	3,37
Média de K ₂	89,40 a	35,04 a	60,91 a	36,34 a	4,91
Média de S ₀	59,22	33,65	48,35	27,18	5,07
Média de S ₁	62,97	33,53	48,88	25,10	4,64
Média de S ₂	63,84	32,72	43,57	24,38	4,20
Média	62,01	33,30	46,93	25,55	4,64
d.m.s.	7,92	2,89	2,89	9,27	

(1) Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADETORO, R. Water use, transpiration coefficient and water use efficiency of maize and soybeans as affected by increase rates of potassium. *Potash Rev.*, n.2, p., 1990.
- ALMEIDA E. C. et al. Efeito de faixas de potencial matricial sobre o crescimento do milho em casa de vegetação. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.9, p.272-6, 1985.
- ALVES, A.C. et al. Exigências nutricionais em potássio, cálcio e magnésio do sorgo sacarino. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.23, p.529-36, 1988.
- ANDERSEN, M.N. et al. The interaction effects of potassium and drought in field-grown barley. I. Yield, water use efficiency and growth. *Soil Plant Sci.*, v.42, p.34-44, 1992a.
- ANDERSEN, M.N. et al. The interaction effects of potassium and drought in field-grown barley. II. Nutrients relations, tissue water content and morphological development. *Soil Plant Sci.*, v.42, p.45-56, 1992b.
- ANDRADE, A.D. et al. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) I. Acumulação de macronutrientes. *Anais Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"*, v.32, p.115-49, 1975.
- ARNEKE, W-W. Influencia del potasio sobre los componentes del potencial de agua y sobre la tasa de crecimiento del *Phaseolus vulgaris* L. *Rev. Potasa*, v.7, p.1-5, 1981.
- ARNON, I. *Mineral nutrition of maize*. Switzerland: International Potash Institute, 1975. 452p.

- BASSOI, L.H. *Lixiviação e acumulação de macronutrientes pelo milho (Zea mays L.) com e sem irrigação suplementar*. Botucatu, 1990. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- BATAGLIA, O.C. et al. Métodos de análises químicas de plantas. *Bol. Téc. Inst. Agron., (Campinas)*, n.78, p.1-48, 1983.
- BATAGLIA, O.C. et al. Adubação nitrogenada e ajustamento osmótico de milho e sorgo. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.20, p.659-65, 1985.
- BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T., CANTARELLA, H. *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p.63-143.
- CLAASSEN, M.N., SHAW, R.H. Water deficit effects on corn. I. Vegetative components. *Agron. J.*, v.62, p.649-52, 1970.
- COSTA, J.O. et al. Produção de milho submentido a diferentes níveis de estresse hídrico. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.23, p.1255-61, 1988.
- GOMES, J., KARAZAWA, M. Como a planta de milho se desenvolve. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *O milho no Paraná*. Londrina, 1982. 177p.
- JENNE, E.A. et al. Change in nutrition element accumulation by corn with depletion of soil moisture. *Agron J.*, Madison, v.71-4, 1958.
- KLAR, A.E. *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. São Paulo: Nobel, 1984. Caracterização e medição dos défices de água dos vegetais. p.303-45.
- KRUMM, M. et al. Influence of potassium nutrition on concentrations of water soluble carbohydrates, potassium, calcium and magnesium and the potential in sap extracted from wheat (*Triticum aestivum*) ears during preanthesis development. *Plant Soil*, v.124, p.281-5, 1990.
- LEWIS, R.B. et al. Susceptibility of grain sorghum to water deficit at three growth stages. *Agron. J.* v.66, p.589-90, 1974.
- LINDHAUER, M.G. Measurement of water parameters in field beans (*Vicia faba* L) at varied K nutrition. *Potash Rev.*, n.5, p.1-7, 1989.
- MACHADO, E.C. et al. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.17, p.825-33, 1982.

- MACKAY, A.D., BARBER, S.A. Soil moisture effect on potassium uptake by corn. *Agron. J.*, v.77, p.524-7, 1985.
- MAURYA, P.R., GUPTA, U.S. El abonado potásico en relación con el potencial hídrico de la planta del trigo. *Rev. Potasa*, n.11, p.1-4, 1984.
- MEDEIROS, S.L.P. et al. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. *Pesqui. Agropec.-Bras.*, v.26, p.1-10, 1991.
- MENGEL, K., KIRKBY, E.A. Potassium in crop production. *Adv. Agron.* v.33, p.59-109, 1980.
- MENGEL, K., KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 4.ed. Berna: International Potash Institute, 1987. cap. 4, p.194-245.
- PIER, P.A., BERKOWITZ, G.A. Modulation of water stress effects on photosynthesis by altered leaf K⁺. *Plant Physiol.*, v.85, p.655-61, 1987.
- SANCHEZ-DIAZ, M.F., KRAMER, P.J. Behavior of corn and sorghum under water stress and during recovery. *Plant Physiol.*, v.48, p.613-6, 1971.
- SHOLANDER, P.F. et al. Sap pressure in vascular plants. *Sci.*, v.48, p.339-46, 1965.
- TURNER, N.C. Concurrent comparisons of stomatal behavior, water status and evaporation of maize in soil at high or low water potential. *Plant Physiol.*, Madison, v.55, p.932-6, 1975.
- WAUGH, D.L., FITTS, J.W. Estudos para interpretação de análises do solos; de laboratório e em vasos. *Int. Soil Testing. Bol. Téc.* n.3, 33p.
- WESTGATE, M.E., GRANT, D.L.T. Water deficits and reproduction in maize, response of the tissue to water deficits at anthesis and mid-grain fill. *Plant Physiol.*, v.862-7, 1989.