EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO EM ALGUMAS
RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DE
Panicum maximum JACQ. cv. TOBIATÃ

MOACYR BERNARDINO DIAS FILHO

Orientador: Prof. Dr. MOACYR CORSI

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Nutrição Animal e Pastagens.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro - 1986

Aos meus pais,
Moacyr e Salomê,
OFEREÇO.

Ao saudoso colega,
Ermenson P. Salímos,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Moacyr Corsi por sua contínua orientação, paciência, estímulo e amizade durante o programa de pós-graduação e pela revisão do manuscrito deste trabalho.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido pela oportunidade de realização deste programa de pós-graduação.

A Sueli Cusato, pela amizade, estímulo e constante participação em todas as fases deste trabalho.

Ao Professor Dr. Irineu Umberto Packer do Departamento de Zootecnia da ESALQ pela amizade e sugestões para a análise estatística.

Ao Professor Dr. Ronaldo Ivan Silveira do Departamento de Solos da ESALQ pela amizade, sugestões e cessão da casa de vegetação.

Ao Eng^o Agr^o Paulo José Hamakawa e Dr. Paulo L. Libardi do Centro de Energia Nuclear na Agricultura pela determinação da curva de retenção de água do solo e sugestões na metodologia deste trabalho.

Ao colega Engº Agrº Paulo Ricardo Dias de Oliveira e esposa pela amizade e colaboração.

Ao colega Dr. Dilson A. Capucho Frazão e família pelo apoio e amizade.

A Sonia Maria Delfini, funcionária do Departamento de Zootecnia da ESALQ pelo apoio e amizade.

Ao Sr. Francisco de Assis Portela, funcionário do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ, por sua colaboração espontânea.

I N D I C E

	Página
RESUMO	xv
SUMMARY	xviii
1. INTRODUÇÃO	
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Desenvolvimento da planta	3
2.2. Relação raiz:parte aérea	12
2.3. Composição mineral	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Local	22
3.2. Gramínea	22
3.3. Vasos	22
3.4. Solo	23
3.5. Condições culturais	23
3.6. Adubação	25
3.7. Delineamento experimental	26
3.8. Regimes de umidade	26
3.9. Determinações	27
3.9.1. Taxa de extensão foliar	27
3.9.2. Taxa de emergência foliar	28

3.9.3. Número de folhas por planta, numero de folhas por perfilho e número de perfilhos por planta.....	29
3.9.4. Produção de matéria seca da parte aérea	29
3.9.5. Produção de matéria orgânica da raiz..	30
3.9.6. Relação raiz:parte aérea.....	30
3.9.7. Composição mineral da parte aérea.....	30
3.9.8. Eficiência do uso de nutriente.....	31
3.10. Análise estatística.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1. Taxa de extensão foliar.....	33
4.2. Taxa de emergência foliar.....	38
4.3. Número de folhas.....	41
4.4. Número de perfilhos por planta.....	46
4.5. Produção de matéria seca da parte aérea.....	49
4.6. Produção de matéria orgânica da raiz.....	51
4.7. Relação raiz:parte aérea.....	53
4.8. Composição mineral.....	55
4.8.1. Fósforo	55
4.8.2. Potássio	62
4.8.3. Cálcio e Magnésio.....	68
4.8.4. Enxôfre.....	71
4.8.5. Eficiência de uso de P e K	76

5. CONCLUSÕES	79
6. LITERATURA CITADA	82
APÊNDICE	94

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Curva de retenção de água do solo.....	24
Figura 2 - Taxa de extensão foliar do capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo.....	34
Figura 3 - Distribuição no tempo da emergência de folhas na haste principal do capim tobiatã, sob três regi- mes de umidade do solo.....	39
Figura 4 - Número de folhas por planta de capim to- biatã sob três regimes de umidade do so- lo e em cinco épocas de avaliação.....	42
Figura 5 - Relação raiz:parte aérea de capim tobia- tã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação.....	54
Figura 6 - Concentração de fósforo na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umi- dade do solo e em quatro épocas de ava- liação.....	58
Figura 7 - Conteúdo absoluto de fósforo na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação	61

Figura 8 - Concentração de potássio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação...	63
Figura 9 - Conteúdo absoluto de potássio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação	67
Figura 10- Conteúdo absoluto de cálcio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação	69
Figura 11- Conteúdo absoluto de magnésio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação	70
Figura 12- Concentração de cálcio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação...	72
Figura 13- Concentração de magnésio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação...	73
Figura 14- Concentração de enxôfre na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação...	74

Figura 15 - Conteúdo absoluto de enxôfre na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação	75
Figura 16 - Eficiência do uso de fósforo e potássio em capim tobiatã sob três regimes de umi- dade do solo e em quatro épocas de ava- liação	77

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Análise química do Latossolo Roxo utilizado no experimento	23
Tabela 2 - Expansão foliar média (cm/dia) de capim Tobiata (Panícum maximum cv. Tobiata) submetido a regimes de umidade do solo (valores relativos entre tratamentos e para o mesmo dia são apresentados em parêntesis).....	35
Tabela 3 - Número médio de folhas por planta em épocas distintas em capim tobiata (Panícum maximum cv. Tobiata) submetido a três regimes de umidade do solo.....	44
Tabela 4 - Número médio de folhas por perfilho por planta em épocas distintas em capim tobiata (Panícum maximum cv. Tobiata) submetido a diferentes regimes de umidade do solo.....	45
Tabela 5 - Número médio de perfilhos por planta em épocas distintas em capim tobiata (Panícum maximum cv. Tobiata) submetido a diferentes regimes de umidade do solo (valores relativos entre tratamentos são apresentados entre parêntesis	47

Tabela 6 - Produção de matéria seca da parte aérea e matéria orgânica de raiz em épocas distintas em capim tobiatã (<i>Panicum maximum</i> cv. Tobiatã) submetido a diferentes regimes de umidade do solo (valores relativos entre tratamentos e para a mesma variável são apresentados entre parêntesis)	50
Tabela 7 - Concentração de minerais (% na matéria seca) em épocas distintas em capim tobiatã (<i>Panicum maximum</i> cv. Tobiatã) submetido a diferentes regimes de umidade do solo.....	56
Tabela 8 - Conteúdo (mg na parte aérea) de minerais em épocas distintas em capim tobiatã (<i>Panicum maximum</i> cv. Tobiatã) submetido a diferentes regimes de umidade do solo.....	57
Tabela 9 - Composição média de minerais expressa em concentração (% na matéria seca) e absorção (mg na parte aérea) em capim tobiatã (<i>Panicum maximum</i> cv. Tobiatã) submetido a diferentes regimes de umidade do solo (valores relativos para a mesma variável são apresentados entre parêntesis)	65

Tabela 10 - Análise de variância para taxa de expansão foliar e taxa de emergência foliar.....	95
Tabela 11 - Análise de variância para peso seco da parte aérea, matéria orgânica da raiz e relação raiz:parte aérea	96
Tabela 12 - Análise de variância para número de folhas por planta, número de folhas por perfilho e número de perfilhos por planta.....	97
Tabela 13 - Análise de variância para % de fósforo e mg de fósforo na parte aérea	98
Tabela 14 - Análise de variância para % de potássio e mg de potássio na parte aérea	99
Tabela 15 - Análise de variância para % de cálcio e mg de cálcio na parte aérea	100
Tabela 16 - Análise de variância para % de magnésio e mg de magnésio na parte aérea	101
Tabela 17 - Análise de variância para % de enxofre e mg de enxofre na parte aérea	102
Tabela 18 - Análise de variância para eficiência do uso de fósforo e eficiência do uso do potássio	103

EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO EM ALGUMAS RESPOSTAS MORFOLÓGICAS
E FISIOLÓGICAS DE *Panicum maximum* JACQ. cv. TOBIATÃ

Autor: Moacyr Bernardino Dias Filho

Orientador: Prof. Dr. Moacyr Corsi

RESUMO

O presente trabalho foi conduzido em vasos, sob condições controladas de umidade do solo, na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, Brasil, objetivando avaliar algumas respostas morfo-fisiológicas do capim tobiatã ao estresse hídrico, através do estabelecimento no solo de três regimes distintos de umidade. Foram determinados a taxa de expansão foliar e a taxa de aparecimento foliar, diariamente, em um período de vinte e nove dias; o número de folhas por planta, número de folhas por perfilho e número de perfilhos por planta aos 0, 7, 14, 21 e 28 dias de imposição dos tratamentos e; produção de matéria seca da parte aérea, produção de matéria orgânica da raiz, relação raiz:parte aérea e composição mineral da parte aérea aos 7, 14, 21 e 28 dias da imposição dos tratamentos. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com três repetições em arranjo fatorial de

regime de umidade x época (29, 5 ou 4 épocas) de avaliação. Os regimes de umidade foram: U1 - capacidade de campo (45% de água no solo); U2 - estresse hídrico constante (29% de água no solo) e, U3 - estresse hídrico progressivo (37, 33, 29 e 27% de água no solo, cada regime de umidade correspondendo, respectivamente, a um ciclo de sete dias de duração), tendo a necessidade de irrigação sido determinada pela pesagem, duas vezes ao dia, de cada vaso. O solo utilizado foi um Latossolo Roxo Eutrófico (Eutrortox) com curva de retenção de água conhecida. Foi feita apenas a adubação de estabelecimento elevando-se o nível de P e K do solo para, respectivamente, 130 e 150 ppm, além da adição de 5 ppm de B, 10 ppm de Fe, 10 ppm de Mn, 10 ppm de Zn, 5 ppm de Cu e 1 ppm de Mo e 300 ppm de N por vaso.

Dos resultados obtidos é sugerido que o efeito geral médio do estresse hídrico apresentou a seguinte ordem decrescente de intensidade: matéria orgânica da raiz, peso seco da parte aérea, taxa de expansão foliar, número de folhas por planta, número de perfilhos e número de folhas por perfilho. Essas variáveis, respectivamente, para os tratamentos U2 e U3, apresentaram os seguintes valores em relação a U1: 58 e 59; 59 e 62; 71 e 68; 75 e 76; 79 e 87; e 88 e 96%. O conjunto dos efeitos prejudiciais de estresse hídrico sugere que o manejo de utilização da pastagem nestas condições deva ser melhor controlado. Plantas inicial -

mente submetidas a melhor condição de umidade do solo parecem sofrer mais os efeitos negativos de determinado estresse hídrico do que plantas que já experimentaram esse estresse. A queda na absorção de Ca, Mg e S seria boa indicadora do estresse hídrico.

EFFECT OF WATER STRESS ON SOME MORPHOLOGICAL
AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF *Panicum*
maximum JACQ. cv. TOBIATÃ

Author: Moacyr Bernardino Dias Filho

Adviser: Prof. Dr. Moacyr Corsi

SUMMARY

This study was conducted in pots, under controlled water conditions at Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, Brazil, in order to evaluate some morphological and physiological responses of "tobiata" grass to soil water stress, by subjecting the plants to three different soil water conditions. Rates of leaf expansion and appearance were followed daily, over a twenty-nine-day period; leaf number per tiller and plant and tiller number per plant were measured at 0, 7, 14, 21 and 28 days of imposition of soil water conditions and, shoot dry weight and root organic matter production per two plants, root:shoot ratio and shoot mineral content at 7, 14, 21 and 28 days of imposition of soil water conditions. The basic treatment design was a factorial combination of soil water condition x period (29, 5 or 4 periods) of evaluation. A complete randomized design with three replicates was used.

The soil water conditions were: U1 - field capacity (45% of soil water content); U2 - constant water stress (29% of soil water content) and, U3 - progressive water stress (37 , 33 , 29 and 27% of soil water content, each soil water condition corresponding, respectively, to a 7-day cycle). The soil water content was maintained by weighting the pots twice a day and adding sufficient water to provide the desired weight. The soil was a "Latossolo Roxo Eutrófico" (Eutrortox) with known moisture retention curve. Each pot, before planting, had the P and K levels risen, respectively, to 130 and 150 ppm, receiving also 5 ppm of B, 10 ppm of Fe, 10 ppm of Mn, 10 ppm of Zn, 5 ppm of Cu, 1 ppm of Mo and 300 ppm of N.

From evidences obtained it is suggested that the average overall effect of water stress produced the following decreasing order of intensity: root organic matter, shoot dry weight, leaf expansion rate, leaf number per plant, tiller number per plant and leaf number per tiller, with relative values, respectively, to U2 and U3 of 58 and 59; 59 and 62; 71 and 68; 75 and 76; 79 and 87, and 88 and 96% of U1 values. The deleterious water stress effects suggest that the pasture management utilization under these conditions should be better controlled. Plants firstly subjected to a particular water stress appear to be more affected than plants which were already experiencing this stress. A fall on Ca, Mg and S uptake would be a good indication of water stress.

1. INTRODUÇÃO

Períodos intermitentes de déficit hídrico podem ser considerados os maiores limitantes climáticos para o crescimento de gramíneas forrageiras em ambiente de clima tropical.

No Brasil, de modo especial, na Amazônia brasileira, grande parte das áreas de pastagens cultivadas estão localizadas em regiões sujeitas anualmente a períodos variáveis de seca que ocasionam comprometimento da produção destas pastagens e, conseqüentemente, da produção animal sustentada por elas.

Neste período o manejo da pastagem deve objetivar o mínimo possível de queda de produtividade, garantindo assim uma rápida recuperação e manutenção desta produtividade com o restabelecimento das condições hídricas ideais.

Sabe-se, no entanto, que uma importante causa

de declínio de produtividade de pastagens cultivadas é o manejo inadequado no início, durante e ao final do período **seco**, sendo portanto uma fase crítica para a manutenção de uma composição botânica adequada no pasto, fator que irá garantir maior longevidade produtiva da pastagem.

O conhecimento do comportamento morfo-fisiológico da forrageira submetida a estresse hídrico torna-se portanto uma importante ferramenta para entender e tornar capaz de prever os efeitos do estresse hídrico na produção da planta e da pastagem, possibilitando assim o uso de práticas de manejo que tornem possível uma melhor utilização da pastagem durante esta fase.

O presente trabalho tem como objetivos:

a) Possibilitar o entendimento, em bases morfológicas e fisiológicas, de algumas características do comportamento da forrageira testada nas condições de estresse hídrico.

b) Propor sugestões de manejo visando o aumento da longevidade produtiva das pastagens em condições de estresse hídrico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Desenvolvimento da planta

Com o aumento da transpiração, mesmo estando o solo na capacidade de campo, o potencial de água da planta diminui se a capacidade das raízes em extrair água do solo e a taxa de transporte de água para as folhas não consegue suprir a demanda atmosférica, levando as folhas a experimentarem um déficit de água. Havendo perda de água do solo, o déficit se torna mais severo e duradouro (PEAKE *et alii*, 1975), pois o transporte de água para as raízes diminuiria devido ao decréscimo na condutividade do solo e contato entre o solo e as raízes (BOYER, 1985).

HSIAO e ACEVEDO (1974) advertem que as plantas são organismos altamente integrados e, à medida que o estresse afeta algum processo na planta, vários mecanismos de controle podem ser ativados visando ajustar outros processos para manter um equilíbrio ou fazer frente ao proble

ma. O estresse hídrico afeta todos os aspectos do crescimento da planta, incluindo a anatomia, morfologia, fisiologia e bioquímica (KRAMER, 1983). TURNER e BEGG (1978) mostram que respostas morfológicas como perfilhamento, desenvolvimento da área foliar e crescimento radicular são mais sensíveis ao déficit hídrico que os processos fisiológicos.

É fato já amplamente aceito que a redução no crescimento celular é um dos efeitos mais imediatos provocado pelo estresse hídrico (HSIAO, 1973; HSIAO e ACEVEDO, 1974; LEVITT, 1980; TURNER e BEGG, 1981), sendo que outros processos menos sensíveis são afetados posteriormente, com o aumento da severidade do estresse (BEGG, 1980). O efeito do estresse hídrico na redução do crescimento celular seria, segundo vários autores (RITCHIE, 1974; HSIAO e ACEVEDO, 1974; LEVITT, 1980), primariamente de natureza física, ou seja, uma redução na pressão hidrostática necessária para a expansão celular devido à queda do potencial de água celular causada pela desidratação. Esta pressão exercida pela turgidez celular teria influência direta na taxa de crescimento do órgão em expansão, suprimindo a pressão interna necessária para expandir as paredes celulares nos tecidos em crescimento (BOYER, 1970; HSIAO, 1973; BOYER, 1985).

Segundo WATTS (1974), em gramíneas a elongação da folha seria controlada pela condição de água da região embrionária na base das folhas, podendo ser portanto

muito diferente das condições de umidade das regiões mais velhas e expostas das partes centrais e terminais. Sendo as sim, em gramíneas, a expansão foliar não seria necessariamente relacionada à turgidez geral da folha. De fato, estudo de Barlow *et alii*, citado por KRAMER (1983) também enfatiza que em gramíneas a expansão foliar não seria necessariamente relacionada com a turgidez geral da folha.

Alguns trabalhos (HSIAO, 1973; KLEINENDORST, 1975; LUDLOW e NG, 1977; HUMPHREYS, 1981) têm demonstrado que a divisão celular nas folhas é menos sensível ao estresse hídrico que a expansão celular, havendo, com o aumento do estresse, um decréscimo mais lento da taxa de divisão, cessando, provavelmente, em potencial de água mais baixo que a extensão celular. No entanto, têm sido demonstrado que, dependendo da espécie, os efeitos primários de um estresse hídrico fraco a moderado podem ser atuantes na fase de expansão celular ou tanto na fase de divisão e expansão celular do crescimento da folha (BEGG e TURNER, 1976).

Assim é que ao verificar os efeitos de ciclos curtos de estresse hídrico no crescimento de *Panicum maximum* var. trichoglume, em vasos, sob condições controladas, NG *et alii* (1975) observaram que o estresse hídrico reduziu o crescimento da planta e atrasou o desenvolvimento vegetativo (haste) e reprodutivo (flor). O efeito observado no crescimento resultou de uma redução na atividade (taxa de assimilação líquida) e tamanho relativo (área) da super-

fície fotossintética. A redução na taxa de assimilação líquida foi a principal determinante da mais baixa taxa de crescimento relativo das plantas estressadas desta gramínea nos ciclos iniciais de estresse, mas em sequência, com a redução na área foliar, a taxa de área foliar também teve uma influência significativa. Neste experimento é ainda mostrado que o crescimento de *P. maximum* foi afetado de duas maneiras, uma direta através da influência no processo de crescimento e a outra indireta, pela influência no desenvolvimento da planta ou ontogenia. Um decréscimo de -8 para -10 bars encontrado no valor do potencial de água da folha, para provocar murchamento, foi interpretado por estes autores como uma resposta de adaptação nas plantas que haviam sido expostas a um maior número de ciclos de estresse hídrico.

Em uma revisão sobre a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera, RITCHIE (1981), fazendo uma análise da influência da água passível de extração do solo sobre a taxa relativa de vários processos fisiológicos, afirma que o processo de alongação foliar é mais sensível ao déficit de água que outros processos, sendo que a alongação para, mesmo quando alguma água permanece no solo.

CHU *et alii* (1973) ao submeterem *Bromus catharticus* a períodos de estresse hídrico observaram que a taxa de expansão foliar começou a decrescer três dias após a imposição do estresse hídrico, continuando a cair rapida-

mente, chegando a níveis de 7% da taxa de expansão do tratamento sem estresse no 28º dia.

Estudando o efeito do estresse hídrico no crescimento do milho, ACEVEDO *et alii* (1971) reportaram que a expansão das folhas de milho foi altamente sensível a pequenas reduções no potencial de água do solo e que a resposta da extensão foliar à queda do conteúdo de água do solo é dinâmica, com a taxa decrescendo continuamente à medida que o potencial de água do solo decrescia de um máximo. É mencionado ainda que, com o desenvolvimento do estresse, a expansão pára completamente antes que a assimilação de CO_2 seja notadamente afetada.

Da mesma forma, WARDLOW (1969) encontrou que em *Lolium tremulentum* sujeito a deficiência de água havia uma redução no crescimento de expansão das raízes e folhas novas antes de haver qualquer efeito na fotossíntese da folha. BOYER (1970) menciona também a mesma tendência em milho, soja e girassol submetidos a diferentes intensidades de estresse hídrico

LUDLOW e NG (1976) mostraram que a taxa de expansão foliar de *P. maximum* var. trichoglume decresceu com o decréscimo do potencial de água da planta. Porém, ao contrário dos resultados do estudo com outras espécies, a fotossíntese líquida e a expansão de *P. maximum* parecem ter tido o mesmo grau de sensibilidade ao estresse de água.

Decréscimos nas taxas de expansão foliar motivados por pequenas quedas no potencial de água das folhas foram indicados por LAWLOR (1969) ao estudar feijão, algodão, milho e *Lolium perenne* por duas semanas em solução de potencial osmótico controlado. Comenta ainda LAWLOR (1969) que todos os aspectos do crescimento foram diminuídos pelo decréscimo no potencial osmótico do meio radicular, tendo o peso seco total de todas as espécies, a cada colheita, decrescido.

Para várias gramíneas tropicais cultivadas em vasos sob quatro níveis fixos de suprimento de água, houve, com o decréscimo na umidade do solo, uma grande redução no peso seco da parte aérea, independente do estágio de desenvolvimento da planta. Em *P. maximum*, por exemplo, com oito semanas de idade, o decréscimo no peso seco da parte aérea foi de 38% em relação ao tratamento com maior nível de água (ABDEL RAHAMN *et alii*, 1971; GERAkis *et alii* (1975) encontraram também redução na matéria seca total (biomassa) de *Erodium botrys*, *Bromus mollis* e *Trifolium subterraneum* em condições controladas, sujeitos a estresse de umidade do solo. Resultados semelhantes foram também encontrados para diferentes cultivares de alfafa por CARTER *et alii* (1982), soja por KRIZEK *et alii* (1985) e *Lupinus albus* por WITHERS e FORDE (1979).

Segundo McCREE e DAVIS (1974) a taxa de produção de matéria seca é bastante afetada pela área foliar, tendo sido observado em sorgo granífero (*Sorghum bicolour*) que a taxa de crescimento e a área foliar final decresceram progressivamente com o aumento do estresse de calor e água. De acordo com BADE e CONRAD (1985) altas temperaturas podem exagerrar o efeito do estresse hídrico mediante o aumento da taxa de evapotranspiração, reduzindo conseqüentemente a produção devido o estresse hídrico.

O grau de redução do crescimento e produção causado pelo déficit hídrico através da diminuição da área foliar depende da relação entre taxa de extensão e potencial de água da folha durante o estresse e na recuperação após a chuva ou irrigação (HSIAO, 1973). O estresse de água pode também afetar a área foliar através da aceleração no processo de morte de folhas e perfilhos (TURNER e BEGG, 1978). Sob estresse hídrico as folhas novas se desenvolvem mais lentamente (aumento do plastocromo) e as folhas velhas senescem mais rapidamente, existindo assim uma séria redução na área fotossintética assim como uma redução da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar (KRAMER, 1983).

Sabe-se que o estresse hídrico acelera a morte das folhas velhas, porém, deve ser lembrado que o momento quando o estresse ocorre e o estágio de desenvolvimento da

folha estão também ligados a senescência em gramíneas tropicais (WILSON e MANNETJE, 1978). Assim é que o estresse hídrico acelerou a morte de folhas mais velhas em plantas de *P. maximum* var. *trichoglume* quando comparada com as plantas do tratamento testemunha (NG *et alii*, 1975). KRAMER (1983) explica que, em plantas sob estresse hídrico, as folhas novas competem por água com as folhas mais velhas, as quais com frequência morrem prematuramente devida a dissecação.

CORLETO e LAUDE (1974) cultivaram *L. perenne* em solo que teve o teor de umidade reduzido para 7%, sendo então irrigado neste ponto ou oito dias após. As plantas submetidas à segunda alternativa apresentaram, sete semanas depois, diminuição de 33% no peso seco da parte aérea e 45% no peso seco das raízes.

Ao avaliar o comportamento de duas espécies de *Urochloa* por um período de três anos, em clima sujeito a períodos de seca, McIVOR (1984) observou que as mudanças nas taxas de aparecimento foliar foram intimamente relacionadas a mudanças no conteúdo de umidade do solo, sendo maior (2 folhas por perfilho por semana) após as chuvas.

Geralmente o perfilhamento é reduzido pelo estresse hídrico (LANGER, 1963; TURNER e BEGG, 1978). Experimento relatado por LUXMOORE *et alii* (1971) mostrou que

um menor suprimento de água no solo provocou a diminuição no número de perfilhos em *L. perenne*, tendo esta variável sido a principal resposta morfológica associada com a produção de matéria seca e a área foliar. Neste estudo, o número de folhas por perfilho, tanto para folhas novas ou expandidas não foi influenciado pelo estresse hídrico.

NORRIS (1982) encontrou que déficits crescentes de água tiveram um menor efeito no número de perfilhos que na expansão foliar de *Lolium*, *Dactylis* e *Festuca*. Redução no perfilhamento devido ao estresse hídrico foi também observada por CHU *et alii* (1979) em *B. catharticus*.

L. perenne e *L. multiflorum* submetidos a estresse hídrico apresentaram redução do número de perfilhos por planta da ordem de 29% em média, em relação ao tratamento testemunha (NORRIS e THOMAS, 1982). De maneira semelhante BADE e CONRAD (1985) relataram diminuição, devido ao estresse hídrico, no número de perfilhos por planta da ordem de 20% e 46% para *Cynodon dactylon* e *Panicum coloratum*, respectivamente, tendo esta variável tido maior influência que o peso individual do perfilho na redução da produção de matéria seca observada nas plantas sob estresse hídrico. Contrariamente, NG *et alii* (1975) observaram que o número de perfilhos de *P. maximum* var. *trichoglume* não muito foi afetado pelo estresse hídrico.

2.2. Relação raiz:parte aérea

A influência do estresse de água no crescimento da raiz é um assunto de certa forma controvertido. GAGLES (1979) revisou 28 trabalhos sobre o efeito do estresse hídrico na relação raiz:parte aérea em diferentes plantas. O estresse hídrico aumentou a relação em 19 casos, diminuiu em quatro, não teve efeito em três e foi variável em dois. Este autor sugere que os resultados conflitantes obtidos podem ser atribuídos a diferenças no estágio de crescimento das plantas e a possíveis variações na disponibilidade de nutrientes. De fato, de acordo com OZANNE (1980), plantas sob condições de deficiência de fósforo podem apresentar uma diminuição no crescimento da parte aérea em relação à raiz, característica que poderia ser em parte motivada pela condição mais favorável de fósforo das raízes pois apresentam oportunidade inicial de metabolizar o fósforo absorvido. Também, conclui este autor, existe provavelmente uma vantagem evolucionária em sobrevivência e crescimento da planta que apresenta um sistema radicular maior e mais extenso sob condições de baixa disponibilidade de fósforo.

Muito embora, conforme mostram BEGG e TURNER (1976) e TURNER e BEGG (1978) a relação raiz:parte aérea possa aumentar com a intensificação do estresse hídrico, não está claro se isto representa um aumento absoluto no

peso da raiz ou apenas um menor efeito do estresse na raiz que na parte aérea. Existem casos, no entanto, em que o estresse de umidade provocou efeitos distintos no crescimento da raiz, como no trabalho de GERAKIS *et alii* (1975) em *Erodium botrys*, *Bromus mollis* e *Trifolium subterraneum* sob diferentes condições de umidade do solo em casa de vegetação. O crescimento da raiz de todas espécies foi diminuído pelo aumento do estresse de umidade. Já no experimento desenvolvido por PEACOCK e DUDECK (1985), nenhum efeito de tratamento (intervalo de irrigação) foi observado na distribuição de raiz de *Stenotaphrum secundatum* em condições de campo.

No entanto, vários autores (HSIAO e ACEVEDO, 1974; BEGG, 1980; PASSIOURA, 1981) apresentam evidências que o estresse hídrico aumenta o crescimento da raiz não somente relativo ao crescimento da parte aérea, mas de uma forma absoluta. A explicação oferecida é que o estresse, sendo insuficiente para afetar de maneira marcante a assimilação de CO_2 , apesar de afetar o crescimento da parte aérea, provocaria um ajuste osmótico e crescimento extra da raiz devido ao aumento de assimilados resultante do reduzido crescimento da parte aérea. De maneira semelhante, WESTGATE e BOYER (1985) inferiram que o aumento geralmente observado na relação raiz:parte aérea em condições limitantes de água poderia ser explicado pela mais eficiente manutenção da tur

gidez e gradiente de potencial de água apresentado pelas raízes em relação às folhas, o que provavelmente permitiria a continuidade de crescimento da raiz.

Em uma revisão de literatura, TURNER e BEGG (1981) mostram que o aumento da relação raiz:parte aérea observada em muitas culturas e forrageiras poderia resultar simplesmente de uma maior diminuição relativa do peso seco da parte aérea, sendo porém bem mais provável que o aumento desta relação resultasse da maior alocação do limitado carbono disponível para as raízes, e não para a parte aérea, com o desenvolvimento do estresse hídrico. Proposição esta também compartilhada por COOPER (1983) e demonstrada por KRIZEK *et alii* (1985) em soja cultivada em condições controladas e submetida a estresse hídrico. Esta maior alocação, segundo TURNER e BEGG (1981), seria particularmente importante na fase vegetativa, sendo a consequência da maior sensibilidade da expansão foliar que da fotossíntese ao estresse hídrico. Este último aspecto também foi demonstrado por WARDLOW (1969).

Em *P. maximum* var. *trichoglume* sujeito a períodos curtos de estresse hídrico, NG *et alii* (1975) discutem que as mais baixas taxas de desenvolvimento e expansão de folhas e seus menores pesos secos, juntamente com um deslocamento preferencial do carbono fixado para a raiz, resultaram em menores relações de peso parte aérea:raiz.

SHARP e DAVIS (1973) reportaram que plântulas de trigo, em vasos, sujeitos a deficiência de água, mostraram um substancial aumento absoluto no crescimento da raiz, tanto no comprimento total como no peso seco do sistema radicular. Também com trigo, experimento de campo conduzido por PROFFITT *et alii* (1985) indicou que a alta frequência de irrigação produziu um sistema radicular mais raso que na menor frequência de irrigação.

Uma clara demonstração de que o estresse hídrico pode induzir um enraizamento mais desenvolvido foi feita por MALIK *et alii* (1979) onde plântulas de algodão foram cultivadas em solo sob diferentes conteúdos de água e o crescimento das raízes em solução nutritiva, abaixo da camada do solo foi examinado. As raízes emergiram das camadas de solo mais rapidamente e exibiram maior taxa de elongação após emergência, quanto menor era o conteúdo de água do solo.

Em um estudo onde investigou-se a influência do déficit hídrico do solo na dinâmica do desenvolvimento da raiz e absorção de água por plantas de milho, não foi observado aumento do peso seco das raízes nos tratamentos com estresse, mas sim uma mudança na distribuição da raiz no perfil do solo (SHARP e DAVIS, 1985).

Em *L. perenne* cultivado em ambiente controlado sob níveis de baixa umidade do solo foram encontradas maiores relações raiz:parte aérea nas avaliações feitas entre 13 e 23 dias após a germinação, tendo esta tendência se invertendo na avaliação feita aos 29 dias (GALES, 1979). Infere este autor que quando a água é limitada, a relação raiz:parte aérea pode ser influenciada mais por um decréscimo na disponibilidade de nutrientes minerais, principalmente o fósforo, do que pela disponibilidade de água do solo. Em algumas situações, conclui GALES (1979), aumentos nas relações raiz:parte aérea em plantas submetidas a estresse hídrico estão associadas a baixos níveis de fósforo no solo ou baixas concentrações deste nutriente no tecido da planta.

2.3. Composição mineral

A necessidade da água para o transporte de nutrientes à planta é fato de reconhecida importância. Conforme comenta MARSCHNER (1983), o decréscimo no potencial de água do solo afeta não somente a absorção de água pela planta e o contato entre raízes e solo, mas também a taxa de difusão de íons para a superfície da raiz, além de afetar, conforme VIETS (1972), o fluxo de nutrientes na água quando esta água é absorvida pela raiz.

Dando mais detalhes aos comentários acima,

KRAMER (1983) discute que, devido à existência de um movimento a longa distância da raiz à parte aérea ocorrer no fluxo de transpiração, uma redução na taxa de transporte de íons pode ocorrer em plantas que têm a transpiração reduzida pelo estresse. A absorção de íons pode também ser reduzida devido ao movimento de minerais ser lento em solo com baixa umidade, a extensão radicular ser diminuída, e a suberização decrescer a permeabilidade da raiz. De fato, HSIAO (1973) comenta que, para plantas em condições de campo, as mudanças no solo causadas pela diminuição do conteúdo de água podem ser tão pronunciadas que encobririam os efeitos do estresse hídrico na absorção e transporte de minerais pela planta.

Revendo a literatura, HSIAO (1973) afirma que vários experimentos têm demonstrado que altas taxas de transpiração podem aumentar a absorção de íons pelas raízes, sendo este efeito mais pronunciado se as raízes já contêm altos níveis de nutrientes e se a concentração do íon no meio externo é alta.

De acordo com PITMAN (1981), o fluxo de água no solo terá maior importância relativa para íons como o fosfato que possuem um baixo coeficiente de difusão no solo. Discute ainda este autor que a redução na umidade do solo afeta a concentração relativa de solutos no solo. Sendo assim, íons como Cl^- ou nitrato, que são pouco adsorvidos nas

partículas do solo, aumentam em concentração, assim como haverá um aumento equivalente, na concentração total de cátions como K^+ , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Finalmente, conclui PITMAN (1981), íons que estão fortemente adsorvidos ou em equilíbrio químico com sais insolúveis tenderão aumentar em concentrações no solo, com conseqüente possíveis influências na absorção pela planta.

Investigações sobre o efeito do estresse de umidade no acúmulo de nutrientes em tecidos vegetais são, em alguns casos conflitantes. VIETS (1972) generaliza que para um dado nível de fertilidade, o decréscimo do suprimento de umidade do solo é associado com um aumento definido no conteúdo de nitrogênio total do tecido vegetal, um decréscimo definido no conteúdo de potássio, e um efeito variável no conteúdo de fósforo, cálcio e magnésio.

Revisão de literatura feita por Vaadia *et alii* (1961), citada por GERAKIS *et alii* (1979), sustenta que o estresse hídrico promove um decréscimo nas concentrações de fósforo e potássio no tecido da planta afetada. Decréscimo na concentração de fósforo da planta associado à baixa disponibilidade de água do solo, também é mencionado por Peasant e Dionn (1976), citados por WILSON (1981); SHARPLEY e REED (1982) e WILSON (1982).

KRIZEK *et alii* (1985) relataram uma redução superior a 40%, na concentração de fósforo acumulado nas fo

lhas, hastes e raízes de soja submetida a estresse de umidade do solo. Esta redução na concentração de fósforo seria fruto de perturbação fisiológica que poderia finalmente ser refletida através da menor produção de matéria seca.

Em cebola, a absorção de fósforo foi muito mais sensível ao estresse hídrico que a absorção de potássio, magnésio e cálcio (Dunham e Nye, 1976, citados por LEVITT, 1980). MAERTENS (1981) demonstrou que a irrigação promoveu aumento na absorção de nitrogênio, fósforo e potássio em girassol, *L. perenne* e alfafa, com menos efeito no nitrogênio.

Para algumas gramíneas e leguminosas submetidas a estresse hídrico foi encontrado que o estresse provocou no tecido vegetal um acúmulo de íons como K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Cl^- , havendo no entanto um decréscimo para fósforo e ferro (ABDEL RAHMAN, *et alii*, 1971). Tendência semelhante foi observada em gramíneas forrageiras C_3 e C_4 , onde tanto a concentração no tecido da planta, como a absorção de P e K decresceram com o aumento do estresse de umidade do solo (MISRA e SINGH, 1982).

Em sorgo granífero submetido a estresse hídrico houve um decréscimo na concentração do fósforo e nenhuma influência no potássio, cálcio e magnésio no tecido da planta (ECK e MUSICK, 1979). Em milho cultivado a campo, recebendo ou não irrigação, o conteúdo de K das plantas

nao irrigadas caiu, possivelmente, devido à senescência das folhas, mas Ca e Mg aumentaram relativamente mais nas plantas que apresentaram maior grau de transpiração, já que a absorção destes íons pode ser proporcional ao fluxo de água na planta (PITMAN, 1981).

É sabido que o estabelecimento de um baixo potencial osmótico permite que a planta se adapte a condições de estresse hídrico mediante o desenvolvimento de baixos potenciais de água, evitando o fechamento prematuro dos estômatos e consequente redução no crescimento (TURNER e BEGG, 1978; PITMAN, 1981; MORGAN, 1984). De acordo com PITMAN (1981) as plantas têm duas estratégias para manter o conteúdo osmótico: uma é a absorção de íons do solo (para a formação de solutos inorgânicos) e a outra seria a formação de solutos orgânicos.

Em um estudo de adaptação ao estresse hídrico de quatro forrageiras tropicais WILSON *et alii* (1980) encontraram que o acúmulo de solutos foi a fórmula de ajuste osmótico das folhas ao estresse hídrico.

Algumas pesquisas têm demonstrado que solutos inorgânicos como o potássio, sódio e cloro acumulam em determinadas plantas submetidas a estresse hídrico devido ao papel destes íons como reguladores osmóticos em muitas espécies (CUTLER *et alii*, 1977; CUTLER e RAINS, 1978; FORD e WILSON, 1981).

De acordo com VIETS (1972) nas avaliações de minerais no tecido da planta devem ser expressas tanto a concentração como a absorção total (valor absoluto) do nutriente a fim de tornar completas as interpretações em estudos com estresse hídrico. No caso da absorção total do elemento, se o estresse hídrico diminui o crescimento e o conteúdo total do nutriente também decresce, significa que o estresse estaria diminuindo a disponibilidade do nutriente. Já um aumento na composição percentual de um mineral com o aumento do estresse, pode ser considerado como sendo uma absorção deste nutriente a uma taxa mais rápida que o aumento do peso seco. O estresse hídrico estaria inibindo o crescimento mais que a absorção de nutriente. Um decréscimo na composição percentual significa que a assimilação líquida e o crescimento não foram tão afetados quanto a disponibilidade do nutriente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, SP., sob condições controladas de umidade do solo.

3.2. Gramínea

A gramínea utilizada foi o capim tobiatã (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiatã), oriundo do Instituto Agrônomo de Campinas, SP.

3.3. Vasos

Foram utilizados vasos plásticos, sem dreno, com volume total de 5.000 ml, diâmetro superior e inferior

de, respectivamente, 23 cm e 17,5 cm e altura de 19 cm. Os vasos foram revestidos interna e externamente com sacos de polietileno de coloração preta.

3.4. Solo

Cada vaso continha 4 kg (peso seco ao ar) de um Latossolo Roxo Eutrófico (Eutrortox) passado em peneira de 2 mm de malha, tendo densidade global de $1,029 \text{ g/cm}^3$, apresentando curva de retenção de água conforma a Figura 1 e com características químicas descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do Latossolo Roxo utilizado no experimento

pH (H ₂ O)	C %	P ppm	K ppm	Ca -----	Mg meq/100g	Al -----	H -----
5,8	0,78	4,0	11,7	4,00	0,89	0,16	4,16

3.5. Condições culturais

O capim tobiatã foi inicialmente semeado em areia em 20.I.86, tendo em 7.II.86 (após o aparecimento de terceira folha) sido transplantado na proporção de três plântulas por vaso, sofrendo em 24.II.86 desbaste para duas plântulas por vaso, selecionadas pelo número de folhas e uniformidade de altura.

Figura 1 - Curva de retenção de água do solo.

3.6. Adubação

Antes do transplante cada vaso recebeu uma adubação equivalente a:

- Elevação dos níveis de P e do K do solo para 130 ppm e 150 ppm, respectivamente, tendo sido utilizados superfosfato simples e cloreto de potássio como fonte de cada elemento.

- Adição de 5 ppm de B, 10 ppm de Fe, 10 ppm de Mn, 10 ppm de Zn, 5 ppm de Cu e 1 ppm de Mo, utilizando-se uma mistura formada por: Ácido bórico, sulfato ferroso, sulfato de manganês, sulfato de zinco, sulfato de cobre e molibdato de sódio.

Imediatamente após o desbaste (17 dias após o transplante), quando a maioria das plantas já apresentavam o segundo perfilho, foi feita a adubação nitrogenada, aplicando-se ao solo 300 ppm de N por vaso na forma de uréia em solução aquosa.

Sete dias após a adubação nitrogenada foi feita aplicação foliar de solução de 0,5% de sulfato de zinco mais 0,3% de carbonato de cálcio visando combater uma possível deficiência generalizada de zinco nas plantas.

3.7. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido usando um delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo fatorial com três repetições. Os fatores foram regime de umidade do solo (Capacidade de campo, Estresse 1 e Estresse 2) e época de avaliação (7, 14, 21 e 28 dias para as variáveis produção de matéria seca da parte aérea, produção de matéria orgânica da raiz, relação raiz:parte aérea, composição mineral da parte aérea e eficiência do uso de nutrientes; 0, 7, 14, 21 e 28 dias para as variáveis número de folhas por planta, número de folhas por perfilho e número de perfilhos por planta, ou diariamente do 1º ao 28º dia para as variáveis taxa de extensão foliar e taxa de emergência foliar).

3.8. Regimes de umidade

Do transplante até o início da imposição dos regimes hídricos (23 dias) o solo de todos os vasos foi mantido a 45% de água, aproximadamente a capacidade de campo.

Os regimes experimentais de umidade iniciaram seis dias após a adubação nitrogenada, quando a haste principal da maioria das plantas já havia emitido a oitava folha, tendo este dia sido designado dia 0 (zero).

Os regimes de umidade impostos foram os seguintes:

Capacidade de campo (U1): solo mantido aproximadamente à capacidade de campo (45% de água) por todo o período experimental (28 dias).

Estresse hídrico constante (U2): solo mantido a 29% de água, por todo o período experimental.

Estresse hídrico progressivo (U3): solo mantido a 37 , 33' , 23 e 27% de água.

Cada regime de umidade correspondendo, respectivamente, a um ciclo de sete dias de duração em U3.

A necessidade de irrigação foi determinada pela pesagem individual dos vasos e complementação do peso com água duas vezes ao dia.

3.9. Determinações

3.9.1. Taxa de expansão foliar

O perfilho principal (haste principal) de cada planta (dois em cada vaso) foi identificado com anéis plásticos coloridos, sendo as medições de expansão foliar feitas nesta haste durante o transcorrer do experimento.

A taxa de expansão ou alongação foliar (THOMAS, 1980) foi verificada medindo-se uma vez ao dia, entre 7 e 9 horas da manhã do dia 0 ao 28º de imposição dos tratamentos; o comprimento da folha (lâmina mais bainha). Esta medição era feita com uma régua colocada contra a base da haste principal, usando a superfície do solo como ponto de referência.

Tanto a folha mais nova como a segunda folha mais nova da haste principal foram medidas. Assim que a próxima folha (por exemplo, folha 10) emergia, a folha 9 tornava-se a segunda folha mais nova e as medições na folha 8 cessavam.

Uma folha era considerada emergida quando podia ser inicialmente vista projetando-se da bainha foliar precedente.

3.9.2. Taxa de emergência foliar

Diariamente, durante 29 dias (do dia 0 ao 28º de imposição dos regimes de umidade), foi verificado o número de folhas (a última folha emergida) na haste principal de cada planta (THOMAS, 1980). Utilizaram-se as mesmas hastes usadas para a avaliação da taxa de expansão foliar.

3.9.3. Número de folhas por planta, número de folhas por perfilho e número de perfilhos por planta.

Aos 0, 7, 14, 21 e 28 dias de imposição dos regimes de umidade: feita a contagem do número de folhas por planta, por perfilho e o número de perfilhos por planta. Para a contagem do número de folhas não eram consideradas as folhas com mais de 50% (estimativa visual) de tecido não verde (clorótico e/ou necrosado).

3.9.4. Produção de matéria seca da parte aérea

Aos 7, 14, 21 e 28 dias após imposição dos regimes de umidade, três vasos por tratamento (três repetições por tratamento) tinham as plantas cortadas rente ao solo, sendo a parte aérea imediatamente pesada para determinação da matéria verde. Após a pesagem o material era cortado em pedaços pequenos e colocado em bandejas individuais para facilitar a secagem, permanecendo por aproximadamente 48 horas em estufa com circulação de ar forçada a temperatura de 60-70°C, sendo posteriormente pesado para determinação do peso seco.

Para esta variável foi considerada a somatória das duas plantas por repetição (vaso).

3.9.5. Produção de matéria orgânica da raiz

Após o corte da parte aérea para determinação da matéria seca, o volume total do solo era retirado do vaso e lavado cuidadosamente sobre uma peneira de malha de 2 mm com água corrente para recuperar as raízes.

Após recuperadas, as raízes eram então mantidas por aproximadamente 48 horas à temperatura de 60-70°C em estufa com circulação de ar forçada.

Após a secagem as raízes eram pesadas e moídas, sendo retiradas duas subamostras por repetição para determinação da matéria orgânica através da queima em mufla a 500°C por 4 horas.

O valor obtido refere-se a somatória das duas plantas por repetição.

3.9.6. Relação raiz:parte aérea

Esta variável foi calculada através da razão entre a matéria orgânica da raiz e a matéria seca da parte aérea.

3.9.7. Composição mineral da parte aérea

Após a pesagem para determinação do peso seco a parte aérea era moída em moinho de aço inoxidável e

acondicionada em sacos plásticos cuidadosamente fechados para posterior determinação da composição mineral.

Para a determinação da concentração (% na matéria seca) de P, K, Ca, Mg e S na parte aérea foi empregado o método de digestão nitroperclórica com bloco digestor e espectrofotometria de absorção atômica (ZAGATTO *et alii*, 1981; SALINAS e GARCIA, 1985). A quantidade absorvida pela planta ou conteúdo absoluto (mg do mineral na parte aérea) foi determinada através do produto da produção de matéria seca da parte aérea pela concentração do mineral correspondente.

3.9.8. Eficiência do uso de nutriente

A eficiência do uso de nutriente (P e K) foi determinada conforme MISRA e SINGH (1982), através da relação entre matéria seca produzida por unidade de P ou K absorvido.

3.10. Análise estatística

Os dados referentes a cada variável resposta foram submetidos à análise de variância, procedendo-se os seguintes desdobramentos:

Teste de Tukey para médias de cada regime de umidade;

Teste de Tukey para médias de regimes de umidade dentro dos níveis de épocas;

Teste de Tukey para médias de época dentro de cada regime de umidade, e

Regressão polinomial considerando o fator época para cada regime de umidade.

Os quadros de análise de variância são apresentados nas Tabelas 10 a 18 no apêndice deste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Taxa de expansão foliar

A taxa de expansão foliar mostrou ser muito influenciada pela umidade do solo, principalmente nos períodos iniciais de avaliação do ensaio (Figura 2 e Tabela 2). Assim é que já no primeiro dia após a imposição dos tratamentos a taxa média de expansão foliar apresentada pela U1 (9,0 cm/dia) já apresentava uma superioridade significativa ($P < 0,05$) em relação às taxas encontradas para U2 (6,4 cm/dia) e U3 (6,6 cm/dia). CHU *et alii* (1979) encontraram em *Bromus catharticus* submetido a estresse hídrico uma queda na taxa de elongação foliar três dias após a imposição dos tratamentos. Naquela situação as condições controladas de temperatura e umidade do ar, entre outros fatores, podem ter contribuído para que *B. catharticus* apresentasse esta resposta mais tardia à condição de umidade do solo.

No presente estudo as condições de estresse

Figura 2 - Taxa de expansão foliar do capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo.

$$U1 \quad (Y = 9,343689 + 0,398574X - 0,062962X^2 + 0,001519X^3)$$

$$U2 \quad (Y = 8,076796 - 0,303933X + 0,003771X^2)$$

$$U3 \quad (Y = 10,127318 - 0,482035X + 0,004784X^2)$$

Tabela 2 - Expansão^(a) foliar média (cm/dia) de capim tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) submetido a regimes de umidade do solo (valores relativos entre regimes de umidade para o mesmo dia são apresentados em parêntesis).

Dias	Regimes de Umidade		
	U1	U2	U3
0	9,7a (100)	9,6a (99)	9,7a (100)
1	9,0a (100)	6,4b (71)	6,6b (73)
2	11,3a (100)	7,1b (63)	8,7b (77)
3	9,8a (100)	6,5b (66)	9,5a (97)
4	9,3a (100)	7,4b (80)	9,4a (101)
5	9,5a (100)	5,2b (55)	9,6a (101)
6	9,8a (100)	7,6b (78)	9,2ab(94)
7	8,4a (100)	6,2b (84)	6,7ab(80)
8	10,1a (100)	6,7b (66)	7,4b (73)
9	8,7a (100)	5,7b (66)	6,2b (71)
10	9,8a (100)	6,1b (62)	5,7b (58)
11	8,5a (100)	4,5b (53)	5,4b (63)
12	7,1a (100)	4,7b (66)	4,7b (66)
13	7,2a (100)	4,6b (64)	4,9b (68)
14	5,7a (100)	4,9a (86)	5,5a (96)
15	7,1a (100)	4,8b (68)	4,9b (69)
16	6,5a (100)	3,9b (60)	1,5c (23)
17	5,9a (100)	4,6a (78)	2,3b (39)
18	5,1a (100)	3,7ab(73)	2,7b (53)
19	4,4a (100)	4,6a (105)	1,7b (39)
20	4,1a (100)	3,8ab(93)	2,2b (54)
21	3,4a (100)	3,4a (100)	1,9a (56)
22	4,1a (100)	2,4ab(59)	1,9b (46)
23	2,8a (100)	1,8a (64)	1,2a (43)
24	3,0a (100)	2,2ab(73)	0,6b (20)
25	3,9a (100)	2,4ab(62)	1,0b (26)
26	5,3a (100)	2,7b (51)	0,9c (17)
27	3,7a (100)	2,5ab(67)	1,4b (38)
28	4,5a (100)	4,1a (91)	1,5b (33)

^(a) Valores comparados na mesma linha, seguidos da mesma letra não têm diferença significativa ($P < 0,05$).

hídrico foram quase sempre intensificadas pelas altas temperaturas e baixa umidade do ar que foram observadas no decorrer do ensaio (dados não apresentados). Obviamente, o vigor de crescimento da gramínea utilizada também contribuiu para estes resultados.

Observa-se na Tabela 2 e Figura 2 que, com o decorrer do tempo, as taxas de expansão foliar apresentadas pelas plantas em U1, principalmente, e U2 apresentaram uma queda que pode ser interpretada como um efeito aditivo de vários fatores. O esgotamento progressivo de alguns dos nutrientes do solo pode ter sido principalmente para as plantas em U1, limitante para a manutenção de um ritmo regular de crescimento. Por outro lado, é sabido que a restrição de volume de solo disponível para o desenvolvimento da zona radicular e crescimento da raiz pode causar sintomas de estresse hídrico em plantas, mesmo não estando a água limitante na zona radicular (KRIZEK *et alii*, 1985). No estudo de KRIZEK *et alii* (1985) foi encontrada redução da expansão foliar em soja (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivada em condições que restringiram o volume da zona radicular. É possível inferir, portanto, que principalmente para as plantas de U1, devido a maior massa radicular (Tabela 5), este efeito tenha sido intensificado com o decorrer do tempo. Finalmente, outro fator que pode ter tido influência foi o nível de inserção das folhas. Trabalho desenvolvido por WILSON (1976) com *Panicum maximum* var. *trichoglume* mostrou que folhas no mes-

mo estágio de desenvolvimento apresentaram, entre outras características, um crescimento mais lento à medida que o nível de inserção aumentava. De fato, examinando-se a Figura 3 é possível ser observado que as plantas em U1 apresentaram um desenvolvimento ontogênico mais acelerado que os outros tratamentos.

A redução na taxa de expansão foliar observada com o decorrer do tempo em U3 era esperada podendo ser atribuída principalmente a progressiva condição de estresse hídrico experimentada pelas plantas submetidas a este tratamento. As tendências marcantes quanto a reduções na taxa de expansão foliar encontradas em U3 a partir do 16º dia (Tabela 2), mesmo sob umidade do solo (29% de água) idêntica a U2, pode significar que, ao contrário de U2, onde as plantas apresentaram valores de decréscimos na taxa de expansão foliar de certa forma uniformes ao longo das avaliações, estas plantas, possivelmente, não se encontravam adaptadas a esta nova condição de umidade do solo. De fato, segundo MORGAN (1984), existem evidências que plantas previamente expostas a estresse hídrico mostram maior capacidade em tolerar períodos subsequentes de estresse hídrico, através de aumentos nos níveis de soluto celular, suposição que pode ser de certa forma reforçada examinando-se a Figura 8. NG *et alii* (1975) encontraram também este tipo de resposta de adaptação em plantas de *P. maximum* var. *trichoglume* que haviam sido submetidas a maior número de ciclos de estresse hídrico.

No presente experimento, observações visuais mostraram que, mesmo em situações em que a quantidade de água no solo era idêntica, as plantas em U3 apresentavam murchamento nos períodos mais quentes do dia, enquanto que em U2 as plantas permaneciam visualmente inabaladas.

Examinando-se esta questão de maneira mais ampla é possível ainda inferir-se que as plantas em U3, ao contrário das plantas em U2, teriam que desenvolver maior esforço metabólico visando a manutenção da biomassa acumulada as custas de melhor condição anterior de umidade, o que foi traduzido em economia de gasto energético através da brusca redução no crescimento destas plantas.

Esta observação pode ter uma grande importância prática já que, pelas evidências apresentadas, seria razoável admitir que plantas desenvolvendo-se com menor disponibilidade de água no solo terão, possivelmente, melhor capacidade de desenvolvimento em condições de estresse hídrico do que aquelas que iniciaram o crescimento nas condições favoráveis de umidade do solo.

4.2. Taxa de emergência foliar

Esta variável mostrou-se dependente dos regimes hídricos a que foram submetidas as plantas, sendo maior nas situações de estresse (Figura 3). Assim é que a taxa

Figura 3 - Distribuição no tempo da emergência de folhas na haste principal do capim tobiatã sob três =

regimes de umidade do solo

$$U1 (Y = 8,869299 + 0,208423X - 0,002725X^2)$$

$$U2 (Y = 8,695810 + 0,131263X - 0,001876X^2)$$

$$U3 (Y = 8,602002 + 0,141026X - 0,002209X^2)$$

de aparecimento foliar, para a capacidade de campo (U1), entre as folhas 9 e 12 foi de certa forma constante, apresentando um valor médio de $5,61 \pm 0,15$ dias entre folhas. Para as plantas submetidas a U2 a taxa de aparecimento foi de $8,97 \pm 1,77$, para o mesmo intervalo de folhas. Já para o tratamento estresse hídrico progressivo esta variável, como poderia ser esperado, foi muito menos constante, apresentando valor médio de $9,19 \pm 3,63$ dias entre folhas, sendo mínimo ($6,57 \pm 2,99$) entre as folhas 9 e 10 e máximo ($13,33 \pm 1,88$) entre a 11^a e 12^a folhas. Estes valores indicam que o desenvolvimento ontogênico em U1 foi mais acelerado que em U2 e U3.

Não obstante a diferença no desenvolvimento ontogênico entre tratamentos, no 28º dia de avaliação, o número (última folha produzida) médio de folhas na haste principal não apresentou diferença significativa ($P > 0,05$) entre os três tratamentos, sendo, respectivamente, para U1, U2 e U3, 12,7, 10,8 e 10,8. Embora numericamente esta diferença (2 folhas) não seja significativa, deve ser salientado que as plantas em U2 necessitariam em torno de 18 dias ($8,97 \times 2$) para atingir o desenvolvimento fisiológico que apresentavam as plantas em U1, se for considerado que esta taxa permanecesse constante. De fato, segundo SILSBURY (1970) a taxa de aparecimento foliar para muitas gramíneas forrageiras, cultivadas em ambiente controlado, parece ser constante com o tempo. Devido as características do tratamento,

em U3 esta diferença representaria maior amplitude de variação.

Os valores idênticos encontrados para U2 e U3 devem-se principalmente ao maior intervalo entre as folhas 9 e 10 e o menor intervalo entre a 11.^a e 12.^a folhas apresentado pelas plantas do tratamento U2 em relação a U3 (dados não apresentados). Esta característica configura de forma marcante o estresse hídrico progressivo sofrido pelas plantas em U3.

O desenvolvimento mais lento ou atraso ontogênico das plantas submetidas aos tratamentos de estresse hídrico poderia ser encarado como uma vantagem quando se observa dados da literatura que mostram aumento no conteúdo de parede celular e diminuição na digestibilidade da matéria seca da lâmina foliar com o aumento do nível de inserção destas folhas em *P. maximum* var. *trichoglume* (WILSON, 1976). Esta característica aliada ao fato do estresse hídrico poder suspender ou diminuir o processo normal de envelhecimento das folhas (WILSON, 1983), poderia inclusive parcialmente compensar outros efeitos negativos causados pelo estresse hídrico.

4.3. Número de folhas

O número médio de folhas por planta (Figura 4

Figura 4 - Número de folhas por planta de capim tobiatã sob três regimes de unidade

do solo e em cinco épocas de avaliação.

$$U1 (Y = 24,866667 + 2,242857X - 0,051020X^2)$$

$$U2 (Y = 22,371429 + 1,117687X - 0,024781X^2)$$

$$U3 (Y = 22,942857 + 1,859184X - 0,059767X^2)$$

e Tabela 3), foi negativamente influenciado pelo estresse hídrico, enquanto que o número médio de folhas por perfilho (Tabela 4) sofreu apenas efeito de U3.

Até a avaliação correspondente ao 14º dia de imposição dos tratamentos houve um crescimento positivo no número de folhas por planta e por perfilho. As plantas submetidas a U3 (Figura 4 e Tabelas 3 e 4) mostraram já a partir da segunda semana de avaliação efeito negativo do estresse hídrico indicando morte das folhas mais velhas (dados não apresentados), condição que, de acordo com KRAMER (1983), poderia expressar o efeito de competição por água das folhas mais novas sobre as mais velhas. NG *et alii* (1975) observaram em *P. maximum* var. *trichoglume* submetido a estresse hídrico um aumento na taxa de morte das folhas mais velhas.

Em U1 ocorreu aumento no número de folhas por perfilho até o 21º dia enquanto U2 este incremento foi verificado até o 14º dia. Com relação ao número de folhas por planta este aumento em U1 foi significativo ($P < 0,05$) entre os dias 0 e 7 de avaliação, não tendo sido significativo para as demais épocas entre si (Tabela 3). Em U2 só a partir do 14º dia o aumento do número de folhas por planta foi significativo (Tabela 3), comportamento semelhante foi observado para número de folhas por perfilho (Tabela 4).

Somente entre o 21º e 28º dia pôde ser detectada uma tendência de estabilização em U2 e em U1 no número

Tabela 3 - Número médio^(a) de folhas por planta em épocas distintas^(b) em capim tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) submetido a três regimes de umidade do solo (valores relativos entre regimes de umidade são apresentados em parêntesis).

Regime de Umidade	Épocas ^(b)				
	0	7	14	21	28
Capacidade de campo	23,3aB	42,0aA	43,7aA	49,0aA	48,3aA
U1	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
Estresse hídrico constante	22,0aB	29,7bAB	33,3bA	34,0bA	34,7bA
U2	(94,3)	(70,6)	(76,3)	(69,4)	(77,7)
Estresse hídrico progressivo	22,3aC	33,7bAB	39,0abA	32,7bAB	29,3bBC
U3	(95,7)	(80)	(89)	(66,7)	(60,7)

(a) Valores seguidos da mesma letra minúscula nas colunas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$). Valores seguidos da mesma letra maiúscula nas linhas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$).

(b) Dias após imposição dos tratamentos.

Tabela 4 - Número médio (a) de folhas por perfilho por planta em épocas distintas (b) em capim tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) submetido a diferentes regimes de umidade do solo (valores relativos entre regimes de umidade são apresentados em parêntesis)

Sentenças em português					
Regime de Umidade	Épocas (b)				
	0	7	14	21	28
Capacidade de campo - U1	3,1aC (100)	4,1aB (100)	4,2aB (100)	4,9aA (100)	4,4aAB (100)
Estresse Hídrico constante U2	3,2aC (103,2)	3,7aBC (90,2)	4,2aAB (100)	4,6aA (93,0)	4,2aAB (95,5)
Estresse Hídrico progressivo U3	2,9aD (93,5)	3,6aBC (87,8)	4,3aA (102,4)	4,1bAB (83,7)	3,3bCD (75)

(a) Valores seguidos da mesma letra minúscula nas colunas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$).
 Valores seguidos da mesma letra maiúscula nas linhas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$).

(b) Dias após a imposição dos tratamentos.

de folhas por perfilho e por planta (Figura 4 e Tabela 4). Este efeito, particularmente em U1, deveu-se possivelmente ao esgotamento de nutrientes do solo em função do ritmo acelerado de crescimento da planta, podendo ainda ter estado associado a fatores como auto-sombreamento, ontogenia da planta e a intensificação da competição por assimilados na planta. É possível ainda supor que, conforme observaram KRIZEK *et alii* (1985) em soja, pode ainda ter havido um efeito adicional da restrição do volume do solo disponível para o desenvolvimento das raízes, o que causaria um efeito semelhante ao provocado pelo estresse hídrico, onde a taxa do aparecimento de folhas não consegue compensar a morte destas. Pode-se assim supor que as plantas que se desenvolveram sem restrição de água atingiram a estabilização e possivelmente decréscimo no número de folhas mais rapidamente do que as plantas em U2.

4.4. Número de perfilhos por planta

O número médio de perfilhos por planta foi significativamente ($P < 0,05$) diminuído pelo estresse hídrico (Tabela 5). Porém, para a última época de avaliação (28º dia de imposição dos tratamentos) os valores relativos para U2 e U3 foram somente em torno de 20 a 25% inferiores ao valor alcançado por U1 no mesmo período (Tabela 5). De maneira semelhante NG *et alii* (1975), estudando o

Tabela 5 - Número médio (a) de perfilhos por planta em épocas distintas (b) em capim tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) submetido a diferentes regimes de umidade do solo (valores relativos entre regimes de umidade são apresentados em parêntesis)

Regime de Unidade	Épocas (b)					Média
	0	7	14	21	28	
Capacidade de campo U1	7,7aB (100)	10,3aAB (100)	10,3aAB (100)	10,0aAB (100)	11,0aA (100)	9,9a (100)
Estresse Hídrico consistente U2	7,0aA (90,9)	8,3aA (80,6)	8,0aA (77,7)	7,3bA (73,0)	8,3bA (75,8)	7,8b (78,8)
Estresse Hídrico progressivo U3	7,7aA (100)	9,3aA (90,3)	9,0aA (87,4)	8,0abA (80,0)	9,0abA (82,0)	8,6b (86,9)

(a) Valores seguidos da mesma letra minúscula nas colunas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$).

(b) Valores seguidos da mesma letra maiúscula nas linhas não têm diferenças significativas ($P \leq 0,05$).
Dias após a imposição dos tratamentos.

efeito de estresse hídrico em *P. maximum* var. trichoglume, em vasos, encontraram que o número de perfilhos não mostrou-se muito afetado pelo estresse hídrico, tendo sido alcançado valor máximo de número de perfilhos, no tratamento com estresse hídrico 14% inferior ao tratamento testemunha.

Para os três tratamentos, pode ser inferido que o número de perfilhos por planta foi estabelecido praticamente na primeira semana de avaliação deste ensaio (7º dia), não se alterando com o tempo, resultando em uma diferença não significativa ($P > 0,05$) entre esta e as demais épocas de avaliação dentro de um mesmo tratamento. Esta tendência confirma as observações de CORSI (1984) sobre outra variedade de *P. maximum* que, no período inicial de avaliação, já apresentava o número final de perfilhos. Já CHU *et alii* (1979) observaram em *Bromus catharticus* que, durante o período de estresse hídrico, o número de perfilhos por planta, embora de maneira lenta, apresentou incremento, não obstante tenha sido reportado que as plantas não submetidas a estresse hídrico tenham alcançado maior número de perfilhos por planta.

É possível que no presente trabalho o manejo de fertilização empregado, com apenas uma fertilização inicial, tenha limitado o desenvolvimento da planta principalmente em função de uma possível restrição de nutrientes, notadamente ni-

trogênio no solo, o que refletiu em limitação no potencial de perfilhamento da gramínea, em particular as submetidas ao tratamento U1.

4.5. Produção de matéria seca da parte aérea

O peso seco da parte aérea mostrou uma grande redução com o decréscimo no conteúdo de umidade do solo (Tabela 6). Já a partir da primeira época de avaliação, sete dias após a imposição dos tratamentos, a produção de matéria seca da parte aérea das plantas submetidas a U1 era significativamente ($P < 0,05$) superior a U2 e U3, que apresentavam produções relativas de, respectivamente, 57,6 e 68,5% da alcançada por U1.

O comportamento produtivo de U3 no 7º dia mostra que, em solos com capacidade de retenção de água semelhante ao utilizado neste experimento, pequenas quedas no conteúdo de água do solo podem ter, em curtos espaços de tempo, um efeito significativo na diminuição da produção de matéria seca da planta, mesmo sob condições satisfatórias de fertilidade do solo. É evidente, no entanto, que plantas cultivadas em vasos sofrem de maneira mais intensa e brusca os efeitos do estresse hídrico, já que praticamente todo o sistema radicular experimenta, de maneira uniforme a mesma situação de umidade do solo (BEGG e TURNER, 1976), não havendo condição para adaptação da planta.

Tabela 6 - Produção (a) de matéria seca da parte aérea e matéria orgânica de raiz em épocas distintas em capim tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) submetido a diferentes regimes de umidade do solo (valores relativos entre regimes de umidade e para a mesma variável são apresentados entre parêntesis)

Regime de Umidade	Parte da planta	Épocas (c)			
		7	14	21	28
Capacidade de campo U1	Parte aérea (b) (g M.S./vaso)	30,7aD(100)	43,3aC(100)	63,3aB(100)	73,7aA(100)
	Raiz (b) (g M.O./vaso)	4,0aD(100)	9,0aC(100)	14,2aB(100)	18,2aA(100)
Estresse Hídrico constante U2	Parte aérea (g M.S./vaso)	17,7bc(57,6)	25,0bc(57,7)	35,3bB(55,8)	46,0bA(62,4)
	Raiz (g M.O./vaso)	2,8aC(70,0)	5,7bBC(63,3)	7,1bB(50,0)	10,8bA(59,1)
Estresse Hídrico progressivo U3	Parte aérea (g M.S./vaso)	21,0bB(68,5)	28,7bB(66,1)	41,0bA(64,7)	40,6bA(55,2)
	Raiz (g M.O./vaso)	3,2aC(80,0)	5,2bBC(57,8)	8,0bAB(56,3)	10,1bA(55,7)

(a) Valores seguidos da mesma letra minúscula nas colunas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$).

Valores seguidos da mesma letra maiúscula nas linhas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$).

(b) Valores correspondem a duas plantas por vaso.

(c) Dias após a imposição dos tratamentos.

Nas avaliações subsequentes as produções de matéria seca em U1 foram sempre significativamente superiores ($P < 0,05$) aos demais tratamentos (Tabela 6). As plantas submetidas ao estresse hídrico progressivo (U3) não apresentaram, na última época de avaliação (28º dia de imposição dos tratamentos) aumento na produção de matéria seca, tendo inclusive havido uma tendência, não significativa de decréscimo de produção entre a penúltima e última épocas de avaliação. Esse comportamento deveu-se provavelmente ao reflexo na queda da área fotossintética da planta devido a tendência de decréscimo no número (Tabela 3, e Figura 2) e elongação de folhas (Tabela 2) neste tratamento, causado pela condição de estresse (27% de água no solo) experimentada na última semana de avaliação do ensaio. De fato, o aspecto visual destas plantas em termos de vigor durante este período era bem inferior ao das plantas do tratamento U2 (dados não apresentados).

Não há diferença entre U2 e U3, mas observa-se na Tabela 6 que o incremento de produção ao longo do tempo, não é o mesmo entre os dois regimes de umidade. As diferenças de produção em U3, ao contrário de U2, só ocorrem após cada 14 dias.

4.6. Produção de matéria orgânica da raiz

A produção de matéria orgânica da raiz mos-

trou comportamento semelhante a produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 6). Porém, pode ser visto que, até a segunda avaliação, a redução relativa no crescimento das raízes proporcionada pelo estresse hídrico foi menor do que a encontrada na parte aérea, confirmando resultados de TURNER e BEGG (1981). Esses autores sugerem que o crescimento da raiz sob estresse hídrico é geralmente favorecido em relação ao crescimento da parte aérea. Pode-se observar, no entanto, que em termos relativos o sistema radicular das plantas sob estresse hídrico (U2 e U3) foi reduzido com maior intensidade do que a parte aérea à medida que os tratamentos eram avaliados. Assim, aos 21 dias, o sistema radicular para U2 e U3 foi reduzido para 50,0 e 56,3%, respectivamente, em relação a U1, enquanto que a parte aérea foi decrescida ao nível de 55,8 e 64,7%, respectivamente, para U2 e U3. Resultado semelhante que demonstra ser o sistema radicular é mais reduzido em termos relativos do que a parte aérea sob estresse hídrico foi descrito por GALES (1979).

No presente trabalho o fato do material morto das raízes não ser descartado, sendo portanto considerado para os cálculos de produção, pode, notadamente nas últimas duas épocas de avaliação, ter tido alguma influência na amplitude dos resultados obtidos. De qualquer maneira, esta variável retrata a produção total de raízes durante um determinado período e não a quantidade

de raízes fisiologicamente ativas em uma determinada fase de crescimento da planta.

4.7. Relação raiz:parte aérea

A relação raiz:parte aérea, para todas as épocas avaliadas, não foi significativamente ($P > 0,05$) influenciada pelo estresse hídrico (dados não apresentados). Pode ser observado na Figura 5 que, nas avaliações iniciais, correspondentes ao sétimo e 14º dia após a imposição dos tratamentos, o estresse hídrico provocou em U2 uma tendência de aumento na relação raiz:parte aérea em relação aos tratamentos U1 e U3; por outro lado, nas avaliações subsequentes (21º e 28º dias), esta tendência inverteu-se. GALEL (1979) encontrou em *L. perenne*, submetido a estresse hídrico, a mesma dinâmica de resposta. Esta tendência de superioridade na relação raiz:parte aérea das plantas não submetidas a estresse hídrico pode ser vista como consequência de uma possível deficiência nutricional, notadamente de P, já que é sabido que o aumento da relação raiz:parte aérea pode ser uma resposta típica à deficiência de P no solo ou a baixa concentração deste nutriente na planta (GALES, 1979; OZZANE, 1980). De fato, as plantas em U1 realmente experimentaram uma queda na concentração de P na matéria seca que acentuou-se na avaliação feita aos 21 dias de imposição dos tratamentos.

Figura 5 - Relação raiz:parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de unidade do solo e em quatro épocas de avaliação.

U1. ($Y = 0,108333 + 0,005238X$)

U2 ($Y = 0,155 + 0,002809X$)

U3 ($Y = 0,126667 + 0,003952X$)

4.8. Composição mineral

Os resultados mostraram, de modo geral, tendência de aumento ou estabilização na concentração (%) de minerais na matéria seca devido ao estresse hídrico (Tabela 7). No entanto, quando a composição mineral foi expressa de forma absoluta (mg/vaso) houve um decréscimo na absorção total com o estresse de umidade (Tabela 8).

As concentrações dos nutrientes mostraram geralmente decréscimo com a idade da planta, o que pode ser entendido como efeito da diluição causada pela relativamente maior produção de matéria seca (MISRA e SINGH, 1982) e queda de níveis de nutrientes no solo, particularmente para o tratamento U1.

4.8.1. Fósforo

Houve influência do estresse hídrico na concentração de P, como pode ser observado a partir da segunda época de avaliação para U3 e após 21 dias para U2 (Tabela 7 e Figura 6). Este comportamento difere daquele encontrado na literatura (MISRA e SINGH, 1982; KRIZEK *et alii*, 1985), onde o estresse de umidade do solo geralmente favorece o menor acúmulo de fósforo no tecido da planta estressada. A menor concentração de fósforo no tratamento U1 pode ser explicada pelo efeito de diluição deste mineral no tecido vegetal devido ao mais rápido aumento na

Tabela 7 - Concentração^(a) de minerais (% na matéria seca) em épocas distintas^(b) em capim tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) submetido a diferentes regimes de umidade do solo

MINERAL	Regime de Umidade	Épocas ^(b)			
		7	14	21	28
Fósforo	U1	0,23aA	0,14bB	0,10bC	0,11aC
	U2	0,20aA	0,15abB	0,13aBC	0,11aC
	U3	0,22aA	0,17aB	0,12abC	0,12aC
Potássio	U1	2,32bA	1,33bB	0,74bC	0,60aC
	U2	3,00aA	2,13aB	1,45aC	0,90aD
	U3	2,81aA	1,94aB	1,15abC	1,01aC
Cálcio	U1	0,73aA	0,63abA	0,50aB	0,43aB
	U2	0,53bA	0,56bA	0,46aAB	0,40aB
	U3	0,64aA	0,66aA	0,51aB	0,40aC
Magnésio	U1	0,47aA	0,45aA	0,36aB	0,34aB
	U2	0,30aB	0,37bAB	0,40aA	0,36aAB
	U3	0,40aB	0,48aA	0,40aB	0,37aB
Enxôfre	U1	0,38aA	0,25aB	0,17aC	0,15aC
	U2	0,34abA	0,28aB	0,21aC	0,17aC
	U3	0,32bA	0,30aA	0,21aB	0,18aB

(a) Valores para o mesmo mineral, seguidos da mesma letra minúscula nas colunas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$). Valores para o mesmo mineral, seguidos da mesma letra maiúscula nas linhas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$).

(b) Dias após a imposição dos tratamentos.

Tabela 8 - Conteúdo^(a) (mg na parte aérea) de minerais em épocas distintas^(b) em capim tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) submetido a diferentes regimes de umidade do solo

MINERAL	Regime de Umidade	Épocas ^(b)			
		7	14	21	28
Fósforo	U1	69,0aAB	63,3aB	65,3aB	83,7aA
	U2	36,0bB	38,0bAB	45,3bAB	52,0bA
	U3	47,0bA	49,7abA	50,7bA	48,7bA
Potássio	U1	711,3aA	571,7aB	465,3aBC	443,0aC
	U2	522,0bAB	533,0aA	506,3aAB	413,0aB
	U3	585,0bA	549,0aA	472,7aAB	407,7aB
Cálcio	U1	223,3aB	273,0aAB	320,0aA	319,7aA
	U2	94,0bB	139,7bAB	164,7bA	184,7bA
	U3	133,7bB	188,7bAB	208,7bA	161,0bAB
Magnésio	U1	142,3aC	194,0aB	226,7aAB	247,7aA
	U2	53,0bB	91,7cB	142,7bA	113,3bA
	U3	84,7bB	138,7bA	165,3bA	151,0bA
Enxôfre	U1	116,7aA	108,0aA	108,0aA	110,3aA
	U2	62,0bA	70,3bA	73,3bA	78,7bA
	U3	68,0bA	85,0abA	84,7abA	75,7bA

(a) Valores para o mesmo mineral, seguidos da mesma letra minúscula nas colunas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$). Valores para o mesmo mineral, seguidos da mesma letra maiúscula nas linhas não têm diferença significativa ($P \leq 0,05$).

(b) Dias após a imposição dos tratamentos.

Figura 6 - Concentração de fósforo na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação.

$$U1 (Y = 0,355833 - 0,021548X + 0,000459X^2)$$

$$U2 (Y = 0,265 - 0,010143X + 0,00017X^2)$$

$$U3 (Y = 0,308333 - 0,013476X + 0,000238X^2)$$

produção de matéria seca destas plantas em relação a U2 e U3.

Observa-se (Tabela 7) decréscimo significativo da concentração do fósforo a medida que as plantas desenvolvem-se sob efeito de todos os tratamentos. Aos 28 dias, época da última avaliação, a concentração de fósforo já era semelhante para os regimes hídricos estudados.

A menor concentração do fósforo nas plantas que cresceram sob regime U1 pode ser explicada pelo desenvolvimento ontogênico mais acelerado destas plantas que, proporcionalmente aos demais tratamentos teriam maior quantidade de tecido fisiologicamente mais velho e mais pobre em P, uma vez que o aumento da idade da planta (envelhecimento do tecido) leva ao decréscimo da concentração de fósforo do tecido vegetal (MENGEL e KIRKBY, 1982). Em adição a este fato sabe-se que a absorção de P é prejudicada pelo aumento da idade da planta (BARBER, 1980) devido ao reduzido influxo de P através das raízes velhas ou suberizadas; sendo possível também, segundo o mesmo autor, haver uma redução de absorção de P mesmo por raízes jovens provenientes de plantas mais velhas.

Quando o conteúdo de fósforo foi expresso de forma absoluta (mg de P na parte aérea) ocorreu uma tendência oposta, isto é, o aumento do estresse de umidade provocou um decréscimo na absorção total de P pela planta (Fi

gura 7 e Tabela 8). Tendência semelhante foi também observada por GERAKIS *et alii* (1975) em *Erodium botrys* e *Bromus mollis* submetidos a estresse hídrico. Segundo GREENWAY e KLEPPER (1968) existe um efeito marcante do fluxo de água através da raiz e no interior do xilema, não na taxa de absorção de P, mas na taxa em que P previamente absorvido é transferido para o xilema, e consequentemente para a parte aérea. O processo, segundo estes autores, seria que o fluxo de transpiração, por induzir um movimento mais rápido do P através do simplasto, pode diluir a concentração deste elemento no seu interior e como resultado promover a transferência para a parte aérea ao invés do acúmulo nos vacúolos das células radiculares. Considerando - se que as plantas em U1, devido a maior umidade do solo e maior superfície fotossintética, apresentaram maior transpiração que as plantas de U2 e U3, infere-se que o fluxo de água teve grande influência na variável absorção de P (mg de P na parte aérea).

Analisando-se a Figura 7 é possível ainda observar que ocorreu tendência de aumento do conteúdo absoluto de P pelas plantas através do tempo sob os regimes hídricos estudados. Entretanto, para U1, no 14º dia de avaliação, houve tendência de diminuição no conteúdo de fósforo, sugerindo que o aumento ($P < 0,05$) na produção de matéria seca (Tabela 6) entre as épocas 1 e 2 não foi capaz de provocar diluição significativa no teor de fósforo, o que indica que a condição de absorção desse nu-

Figura 7 - Conteúdo absoluto de fósforo na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de unidade do solo e em quatro épocas de avaliação

U1 ($Y = 88,833333 - 3,628571X + 0,122449X^2$)

U2 ($Y = 29,0 + 0,790476X$)

U3 ($Y = 41,666667 + 0,919048X - 0,023809X^2$)

triente era suficiente para manter a exigência da planta. Por outro lado, em U3 a tendência de decréscimo na absorção de fósforo ao final do experimento pode indicar que o nível de estresse experimentado pela planta estaria mostrando os primeiros sinais de limitação à produção de matéria seca e absorção do fósforo.

Os resultados demonstram que interpretações das análises de composição bromatológica em relação ao fósforo dependem de conhecimentos sobre ontogenia da planta, estágio de desenvolvimento e nível de estresse hídrico, informações que não são facilmente coletadas e disponíveis.

4.8.2. Potássio

O estresse de umidade esteve associado com aumento na concentração de K da planta (Tabela 7 e Figura 8). Já a partir da primeira época de avaliação os valores para esta variável eram semelhantes entre U2 e U3 e significativamente ($P < 0,05$) maiores a U1. A diferença na concentração de K entre tratamentos diminuiu à medida que as plantas se desenvolveram e, aos 28 dias, durante a última avaliação, a concentração de K era semelhante variando de 0,6 a 1,0% (Tabela 7). Sabe-se que o aumento de K no conteúdo celular, em condições de mais baixo nível de água no solo, pode ser provocado pelo mecanismo de adaptação da planta ao estresse hídrico, já que este íon é um importante soluto envolvido no ajuste osmô-

Figura 8 - Concentração de potássio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação.

U1 ($Y = 3,761667 - 0,235857X + 0,004388X^2$)

U2 ($Y = 3,623333 - 0,10X$)

U3 ($Y = 4,178334 - 0,217143X + 0,003673X^2$)

tico (aumento no nível de soluto devido à perda de água) nas células da folha a fim de manter a turgidez e fixação de CO_2 (TURNER e BEGG, 1978; PITMAN, 1981).

FORD e WILSON (1981) mostraram também haver um grande acúmulo de potássio nas folhas de *Heteropogon contortus* e *Cenchrus ciliaris* submetidos a estresse hídrico, sendo esta característica atribuída como causa do papel da regulação osmótica desempenhado por este cátion em muitas espécies. Pode ser afirmado portanto que os resultados observados no estudo anterior justificam o aumento na concentração de K encontrado no presente trabalho para as plantas estressadas, sugerindo portanto que nesta situação este íon estava sendo utilizado preferencialmente na regulação osmótica do que diretamente no metabolismo de crescimento da planta.

A absorção de K (mg de K na parte aérea) foi relativamente pouco afetada pelo estresse hídrico (Tabela 9). De acordo com PITMAN (1981) a absorção de K de soluções se mantém mesmo sob baixas taxas de fluxo de água, sendo que dentro da planta o transporte de K, ao contrário do Ca e Mg e sulfato, seria menos afetado pelo baixo fluxo de água de natureza espasmódica. Tal condição, segundo BOWLING (1968), seria mais evidente em situações de baixas concentrações externas de K na solução. Em trabalho desenvolvido com girassol, este último autor determi-

Tabela 9 - Composição média^(a) de minerais expressa em concentração (% na matéria seca) e absorção (mg na parte aérea) em capim tobiatã (*Panicum maximum* cv. Tobiatã) submetido a diferentes regimes de umidade do solo (valores relativos para a mesma variável são apresentados entre parêntesis)

Regime de Unidade	Variável	Mineral				
		Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxôfre
Capacidade de Campo (U1)	Conc. (%)	0,15a(100)	1,25b(100)	0,57a(100)	0,40a(100)	0,24a(100)
	Absor. (mg)	70,3a(100)	547,8a (100)	284,0a (100)	202,7a (100)	110,7a (100)
Estresse Hídri- co constante (U2)	Conc. (%)	0,15a(100)	1,87a(150)	0,49b(86)	0,36b(90)	0,25a(104)
	Absor. (mg)	49,0b (70)	493,6b (90)	173,0b (61)	134,9b (67)	78,3b (72)
Estresse Hídri- co progressivo (U3)	Conc. (%)	0,16a(107)	1,73a(138)	0,55a(96)	0,41a(102)	0,25a(100)
	Absor. (mg)	42,8b (61)	503,6ab(92)	145,7b (51)	112,7c (56)	71,1 b(64)

(a) Média dos valores encontrados no 7º, 14º, 21º e 28º dias após imposição dos tratamentos. Valores para a mesma variável seguidos da mesma letra nas colunas não têm diferenças significativas ($P \leq 0,05$). Coeficiente de variação (%): (A) 4,67 (extensão); 8,49 (emergência) (B) 16,70 (extensão); 2,35 (emergência)

nou que quando a concentração externa de K é alta, a transpiração parece ter efeito marcante no fluxo passivo de absorção do K, por outro lado, sob concentrações externas baixas de K, onde o transporte de K para a parte aérea é principalmente um processo ativo, não há efeito da transpiração. De fato, segundo CHEESMAN e HANSON (1979) a absorção de K é ativa sob baixas concentrações deste nutriente na solução do solo, sendo este mecanismo inibido por concentrações externas mais altas deste cation.

O manejo de adubação utilizado no presente ensaio (apenas uma fertilização no plantio) pode ter sido insuficiente para manter esse nutriente em disponibilidade às plantas durante toda a fase experimental, esgotando-se progressivamente com o decorrer do tempo. Esta condição, aliada às evidências acima apresentadas, pode ter contribuído para que, com exceção da primeira avaliação quando a concentração de K na solução do solo era ainda provavelmente alta, os valores para a absorção de K tenham sido semelhantes entre todos os tratamentos (Figura 9 e Tabela 8).

Sendo assim, o valor significativamente maior para a absorção de K pelas plantas da U1 em relação a U2 e U3 encontrado na primeira época de avaliação (Tabela 8) pode portanto traduzir um efeito direto do fluxo de água

Figura 2 - Conteúdo absoluto de potássio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação.

$$U1 (Y = 922,333333 - 33,971429X + 0,598639X^2)$$

$$U2 (Y = 451,583333 + 13,578571X - 0,532313X^2)$$

$$U3 (Y = 655,666667 - 8,690476X)$$

causado pela maior transpiração das plantas submetidas a este tratamento.

4.8.3. Cálcio e Magnésio

O estresse hídrico influenciou negativamente no conteúdo absoluto de Ca na parte aérea (Figura 10 e Tabela 8). Comportamento semelhante foi também encontrado para o Mg (Figura 11 e Tabela 8). GERAKIS *et alii* (1975) encontraram também a mesma tendência em *Erodium brotys* e *Bromus mollis*. É sabido que o Ca tem a absorção e translocação dentro da planta comandadas principalmente por um processo passivo, sendo a intensidade de transpiração (fluxo de água na planta) a principal responsável pela translocação ascendente de Ca (PITMAN, 1981; MENGEL e KIRKBY, 1982). Em condições de baixa transpiração existe depressão na taxa de absorção de Ca e Mg (LAZAROFF e PITMAN, 1966; PITMAN, 1981).

Examinando-se os valores médios relativos referentes ao conteúdo absoluto de Ca e Mg (Tabela 9) a característica acima descrita pode ser perfeitamente visualizada; sob efeito do estresse hídrico a redução na absorção desses minerais variou entre 51 e 67% do tratamento U1, onde as plantas apresentavam maior superfície foliar e condições para maior taxa de transpiração. Em algumas situações foi ob-

Figura 10 - Conteúdo absoluto de cálcio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade de solo e em quatro épocas de avaliação.

U1 ($Y = 200,0 + 4,80X$)

U2 ($Y = 71,50 + 4,242857X$)

U3 ($Y = 19,16667 + 19,790476X - 0,523809X^2$)

Figura 11 - Conteúdo absoluto de magnésio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de unidade do solo e em quatro épocas de avaliação.

$$U1 (Y = 115,50 + 4,980952X)$$

$$U2 (Y = 17,16667 + 5,457143X)$$

$$U3 (Y = -6,91667 + 15,426191X - 0,348639X^2)$$

servada perda de até 1000 ml de água, por vaso, no tratamento U1, em período de cerca de seis horas (dados não apresentados). Essa perda de água pode ser atribuída, em grande parte, a transpiração já que, com base em experimento anterior (M.B. DIAS FILHO, não publicado), a evaporação mostrou ser insignificante nestas condições.

A concentração de Ca (Figura 12 e Tabela 7), independente do nível de umidade do solo, apresentou decréscimo com a idade da planta, variando de em média 0,6% aos sete dias para 0,4% aos 28 dias de avaliação. Por outro lado, o Mg mostrou aumentos significativos nas avaliações aos 14 e 21 dias para os tratamentos U3 e U2, respectivamente (Tabela 7 e Figura 13). Acredita-se que esse efeito seja devido à diminuição do nível de K no solo, uma vez que GRIMME *et alii* (1974) determinaram o efeito antagônico do K na absorção do Mg. De fato, comparando-se as Figuras 9 e 11 pode ser observado um efeito inverso entre a absorção destes dois cátions pelas plantas de capim tobiatã.

4.8.4. Enxôfre

A concentração de enxôfre na matéria seca não foi afetada pelo estresse de umidade (Tabela 7 e Figura 14). Por outro lado, houve absorção preferencial deste mineral pelas plantas do tratamento U1 (Tabela 8 e Figura 15), enquanto que o estresse hídrico (U2 e U3) preju

Figura 12 - Concentração de cálcio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do

solo e em quatro épocas de avaliação.

U1 ($Y = 0,828333 - 0,014476X$)

U2 ($Y = 0,603333 - 0,006619X$)

U3 ($Y = 0,60 + 0,011429X - 0,00068X^2$)

Figura 13 - Concentração de magnésio na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de unidade

do solo e em quatro épocas de avaliação.

U1 ($Y = 0,523333 - 0,006905X$)

U2 ($Y = 0,155833 + 0,023929X - 0,000595X^2$)

U3 ($Y = 0,320833 + 0,017214X - 0,000561X^2$)

Figura 14 - Concentração de enxofre na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes

de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação

$$U1 (Y = 0,5675 - 0,030643X + 0,000561X^2)$$

$$U2 (Y = 0,40 - 0,008429X)$$

$$U3 (Y = 0,386667 - 0,008333X + 0,000034X^2)$$

Figura 15 - Conteúdo absoluto de enxofre na parte aérea de capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação.

$$U1 \quad (Y = 129,25 - 2,235714X + 0,056122X^2)$$

$$U2 \quad (Y = 57,833333 + 0,757143X)$$

$$U3 \quad (Y = 40,166667 + 4,966667X - 0,132653X^2)$$

dicou significativamente a absorção do enxôfre pelas plantas. Dados de Petterson (1960), citados por PITMAN (1981) e dados de BOWLING (1968) mostram que plântulas de girassol absorveram o sulfato de maneira proporcional à transpiração (fluxo de água na planta).

Comparando-se as Figuras 10, 11 e 15 fica evidenciada a semelhança no comportamento da absorção entre o enxôfre, cálcio e magnésio, sugerindo mecanismos semelhantes de absorção destes minerais.

4.8.5. Eficiência de uso de fósforo e potássio

A eficiência de uso de P e K (EUP e EUK) foi negativamente influenciada pelo estresse hídrico (Figura 16), principalmente com relação ao K.

A magnitude, com relação aos valores médios observados para os três tratamentos, foi máxima para EUP (462-869 g de matéria seca/g de P absorvido); para o K esta amplitude foi menor (38-126 g de matéria seca/g de K absorvido).

Observa-se que tanto a EUP como a EUK, este último de maneira mais evidente, aumentaram com a idade da planta e diminuíram com a intensidade do déficit de água do solo (Figura 16). De forma contrária, MISHA e SINGH (1982) ao avaliarem, em condições de campo, os efeitos

Figura 16 - Eficiência do uso de fósforo e potássio em capim tobiatã sob três regimes de umidade do solo e em quatro épocas de avaliação.

$$U1 \quad (P \rightarrow Y = -91,166667 + 85,819048X - 1,789116X^2;$$

$$K \rightarrow Y = -2,0 + 6,195238X)$$

$$U2 \quad (P \rightarrow Y = 379,5 + 18,447619X;$$

$$K \rightarrow Y = 37,083333 - 1,459524X + 0,147959X^2)$$

$$U3 \quad (P \rightarrow Y = 316,166667 + 20,161908X;$$

$$K \rightarrow Y = 12,166667 + 3,228571X)$$

do estresse hídrico em gramíneas forrageiras C_4 no verão, encontraram tendência de aumento na EUK e EUP com o aumento do estresse hídrico.

O aumento na EUK foi mais evidente para as plantas que não sofreram estresse hídrico (U1). Esse fato pode estar relacionado com o uso do K para a regulação osmótica pelas plantas sob efeito de estresse hídrico (FORD e WILSON, 1981). No entanto, MORGAN (1984) afirma que o mecanismo de regulação osmótica não é simplesmente um acúmulo passivo de solutos que não puderam ser utilizadas devido a reduções no crescimento da planta. No presente trabalho a menor eficiência no uso de K em U2 e U3 deveu-se ainda, provavelmente, a falta de condições de crescimento da planta em relação ao estresse hídrico combinado com a restrição na absorção de outros nutrientes pelas plantas estressadas como enxôfre, cálcio e magnésio. Deve-se salientar que a absorção de K foi pouco afetada pela condição de umidade do solo (Tabela 6), indicando que a redução na produção de matéria seca da parte aérea, particularmente, foi responsável pela diminuição da EUK.

5. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões são sugeridas dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste experimento.

a) O efeito prejudicial do estresse hídrico sobre o capim *Panicum maximum* cv. Tobiatã manifestou-se na seguinte ordem decrescente de intensidade: matéria orgânica da raiz, peso seco da parte aérea, taxa de expansão foliar, número de folhas por planta, número de perfilhos e número de folhas por perfilho. Essas variáveis, respectivamente, para os tratamentos em que as plantas sofreram estresse hídrico constante - U2 (29% de água no solo) e progressivo - U3 (37 a 27% de água no solo), apresentaram os seguintes valores médios em relação a U1 (45% de água no solo), com as amplitudes de variação em parêntesis: 58 (50 a 70) e 59 (56 a 80); 59 (56 a 62) e 62 (55 a 68); 71 (105 a 53) e 68 (101 a 20); 75 (69 a 94) e

76 (61 a 96); 79 (73 a 91) e 87 (80 a 100); 88 (103 a 90) e 96 (102 a 75).

b) O decréscimo acentuado na massa radicular e na expansão foliar das plantas sob estresse hídrico, mesmo sob condições adequadas de fertilidade do solo, indica que o manejo e utilização da pastagem nestas condições deve merecer cuidados uma vez que estas plantas teriam limitada capacidade de recuperação após o corte mecânico ou pastejo.

c) A redução na produção de matéria seca devido ao estresse hídrico pode ser indicação de estágio avançado do prejuízo provocado pela insuficiência de água para a planta, sendo consequência de reduções antecipadas de expansão foliar, número de folhas por planta além da diminuição do sistema radicular. Assim, plantas que demonstram redução na produção de matéria seca da parte aérea sob efeito do estresse hídrico devem responder mais lentamente a técnicas de manejo em decorrência do estágio avançado de deterioração no vigor da planta forrageira.

d) Os valores médios apresentados para as variáveis expansão foliar, número de folhas por planta e produção do sistema radicular encontrados neste estudo podem não representar somente o efeito dos tratamentos impostos uma vez que nas avaliações finais mediu-se uma somatória de efeitos, refletindo esgotamento de nutrientes

disponíveis, ontogenia diferencial de plantas e restrição do volume de solo, entre outros.

e) Plantas inicialmente submetidas a melhor condição de umidade do solo parecem sofrer mais os efeitos negativos de determinado estresse hídrico do que plantas que já experimentavam condições idênticas de estresse.

f) As quantidades de Ca, Mg e S absorvidas (mg do mineral na parte aérea) pelas plantas podem ser boas indicadoras do estresse hídrico uma vez que experimentam reduções significativas nestas condições. Por outro lado, o K absorvido não indicaria intensidade de estresse hídrico na planta.

g) Plantas cultivadas em condições de campo devem apresentar comportamento semelhante aos efeitos morfofisiológicos determinados neste estudo. Reconhece-se, entretanto, que no campo as plantas apresentariam sinais menos evidentes e caracterizados em maior período de tempo devido às condições favoráveis de adaptação.

6. LITERATURA CITADA

ABDEL RAHMAN, A.A.; A.F. SHALABY e M.O. EL MONAYERI, 1971.

Effect of moisture stress on metabolic products and ions accumulation. *Plant and Soil*. The Hague, 34:65-90.

ACEVEDO, E.; T.C. HSIAO e D.W. HENDERSON, 1971. Immediate and subsequent growth response of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology*. Lancaster, 48:631-636.

BADE, D.H. e B.E. CONRAD, 1985. Temperature and water stress effects on growth of tropical grasses. *Journal of Range Management*. Denver, 38:321-324.

BARBER, S.A., 1980. Soil plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: F.E. KHASAWNEH; E.C. SAMPLE e E.J. KAMPRATH, Ed. *The Role of Phosphorus in Agriculture*. American Society of Agronomy, p.591-615.

BEGG, J.E. e N.C. TURNER, 1976. Crop water deficits. *Advances in Agronomy*. New York, 28:161-217.

- BEGG, J.E., 1980. Morphological adaptations of leaves to water stress. In: N.C. TURNER e P.S. KRAMER, Ed. *Adaptations of Plants to Water and High Temperature Stress*. John Wiley and Sons, Inc. New York, p.33-112.
- BOWLING, D.J.F., 1968. Active and passive ion transport in relation to transpiration in *Helianthus annuus*. *Planta*. Berlin, 83:53-59.
- BOYER, J.S., 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn soybean and sunflowers at various leaf water potentials. *Plant Physiology*. Lancaster, 46:233-235.
- BOYER, J.S., 1985. Water transport. *Annual Review of Plant Physiology*. Palo Alto, 36:473-516.
- CARTER, P.R.; C.C. SHEAFFER e W.B. WOORHEES, 1982. Root growth, herbage yield, and plant water status of alfalfa cultivars. *Crop Science*. Madison, 22:425-427.
- CHEESMAN, J.N. e J.B. HANSON, 1979. Energy-linked potassium influx as related to cell potential in corn roots. *Plant Physiology*. Lancaster, 64:842-845.
- CHU, A.C.P.; H.G. McPHERSON e G. HALLIGAN, 1979. Recovery growth following water deficits of different duration in prairie grass. *Australian Journal of Plant Physiology*. East Melbourne. 6:255-263.

- COOPER, P.J.M., 1983. Crop management in rainfed agriculture with special reference to water use efficiency. In: *Nutrient Balance and the Need for Fertilizers in Semi-Arid and Arid Regions*. Proceedings of the 17th Colloquium of the International Potash Institute. Rabat, 1983. p.63-79.
- CORLETO, A. e H.M. LAUDE, 1974. Evaluating growth potential after drought-stress. *Crop Science*. Madison, 14:224-227.
- CORSI, M., 1984. Effects of nitrogen rates and harvesting intervals on dry matter production, tillering and quality of the tropical grass *Panicum maximum*, Jacq. Ohio, The Ohio State University, 125p. (Tese de Doutorado).
- CRAFTS, A.S., 1968. Water deficits and physiological process. In: KOZLOWSKI, T.T. Ed. *Water Deficits and Plant Growth*, Vol. II. Academic Press. New York. p. 85-133.
- CUTLER, J.M.; D.W. RAINS e R.S. LOOMIS, 1977. Role of changes in solute concentration in maintaining favourable water balance in field-grown cotton. *Agronomy Journal*. Madison. 69:773-779.
- CUTLER, J.M. e D.W. RAINS, 1978. Effects of water stress and hardening on the internal water relations and osmotic constituents of cotton leaves. *Physiologia Plantarum*. Copenhagen, 42:261-268.

- DAVIDSON, R.L., 1969. Effects of soil nutrients and moisture on root/shoot ratio in *Lolium perenne* L. and *Trifolium repens* L. *Annals of Botany*. Oxford, 33:571-577.
- ECK, H.V. e J.T. MUSICK, 1979. Plant water stress effects on irrigated grain sorghum. II. Effects on nutrients in plants tissues. *Crop Science*. Madison. 19:592-598.
- FORD, C.W. e J.R. WILSON, 1981. Changes in levels of solutes during osmotic adjustment to water stress in leaves of four tropical pasture species. *Australian Journal of Plant Physiology*. East Melbourne, 8:77-91.
- GERAKIS, P.A.; F.P. GUERREIRO e W.A. WILLIAMS, 1975. Growth water relations and nutrition of three grassland annuals as affected by drought. *Journal of Applied Ecology*. Oxford. 12:125-135.
- GALES, K., 1979. Effects of water supply on partitioning of dry matter between roots and shoots in *Lolium perenne*. *Journal of Applied Ecology*. Oxford. 16:863-877.
- GREENWAY, H. e B. KLEPPER, 1968. Phosphorus transport to the xylem and its regulation by water flow. *Planta*. Berlin, 83:119-136.
- HSIAO, T.C., 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. Palo Alto, 24:519-570.

- HSIAO, T.C. e E. ACEVEDO, 1974. Plant responses to water deficits water-use efficiency, and drought resistance. *Agricultural Meteorology*. Amsterdam, 59:59-84.
- HUMPHREYS, L.R., 1981. Environmental adaptation of tropical pasture plants. Macmillian Publishers Ltd. London, p.83-94.
- KLEINENDORST, A., 1975. An expansion of leaf growth after stress conditions. *Netherland Journal of Agriculture Science*. Wageningen, 23:139-144.
- KRAMER, P.J., 1983. Water relations of plants. Academic Press. Inc. New York. 489p.
- KRIZEK, D.T.; A. CARMI; R.M. MIRECKI; F.W. SNYDER e J.A.BUNCE, 1985. Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Journal of Experimental Botany*. Oxford. 36:141-148.
- LANGER, R.H.M., 1963. Tillering in herbage grasses. *Herbage Abstracts*. Aberystwith, 33:141-148.
- LAWLOR, D.W., 1969. Plant growth in polyethylen glycol solutions in relation to osmotic potential of the root medium and the leaf water balance. *Journal of Experimental Botany*. Oxford. 20:895-911.

- LAZAROFF, N. e M.G. PITMAN, 1966. Calcium and magnesium uptake by barley seedlings. *Australian Journal of Biological Sciences*. East Melbourne. 19:991-1005.
- LEVITT, J., 1980. Response of plants to environment stress. Vol. II. Water, radiation, salt and other stresses. Academic Press. New York, 607p.
- LUDLOW, M.M. e T.T. NG, 1976. Effect of water deficit on carbon dioxide exchange and leaf elongation rate of *Panicum maximum* var. *trichoglume*. *Australian Journal of Plant Physiology*. East Melbourne, 3:401-413.
- LUDLOW, M.M. e T.T. NG, 1977. Leaf elongation rate in *Panicum maximum* var. *trichoglume* following removal of water stress. *Australian Journal of Plant Physiology*. East Melbourne, 4:263-272.
- LUXMOORE, R.J. e R.L. MILLINGTON, 1971. Growth of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) in relation to water, nitrogen and light intensity. I. Effects on leaf growth and dry weight. *Plant and Soil*. The Hague, 34:269-281.
- MAERTENS, C., 1981. Relations between the uptake of nutrients and water and the root system. In: *Agricultural yield potentials in continental climates* Proceedings of the 16th Colloquium of the International Potash Institute. p.77-86.

MALIK, R.S.; J.S. DHANKAR e N.C. TURNER, 1973. Influence of soil water deficits on root growth of cotton seedlings. *Plant and Soil*. The Hague. 53:109-115.

MARSCHNER, H. 1983. Nutrient mobility, root growth and root induced changes in the rhizosphere as factors of nutrient availability in soils of semi-arid and arid areas. In: *Nutrient Balances and the need for Fertilizers in Semi-Arid and Arid Regions*. Proceedings of the 17th Colloquium of the International Potash Institute, Rabat, 1983. p. 107-128.

McCREE, K.H. e S.D. DAVIS, 1974. Effect of water stress and temperature on leaf size and number of epidermal cells in grain sorghum. *Crop Science*. Madison, 14:751-755.

McIVOR, J.G., 1984. Leaf growth and senescence in *Urochloa mosanbiensis* and *U. oligotricha* in a seasonally dry tropical environment. *Australian Journal Agriculture Research*. East Melbourne, 35:177-187.

MENGEL, K. e E.A. KIRKBY. *Principles of plant nutrition*. International Potash Institute. Bern. 655p.

MISRA, G. e K.P. SINGH, 1982. Effect of soil moisture and clipping stresses on the nutrient (N, P and K) concentration, uptake and use efficiency in one temperate and two tropical grasses. *Plant and Soil*. The Hague, 69:413-421.

- MORGAN, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. Palo Alto, 35: 299-319.
- NG, T.T.; J.R. WILSON e M.M. LUDLOW, 1975. Influence of water stress on water relations and growth of a tropical (C₄) grass *Panicum maximum* var. *trichoglume*. *Australian Journal of Plant Physiology*. East Melbourne, 2:581-595.
- NORRIS, I.B., 1982. Soil moisture and growth of contrasting varieties of *Lolium*, *Dactylis* and *Festuca* species. *Grass and Forage Science*. Hurley, 37:273-283.
- NORRIS, I.B. e H. THOMAS, 1982. Recovery of ryegrass species from drought. *Journal of Agriculture Science*. Cambridge, 98:623-628.
- OZANNE, P.G., 1980. Phosphate nutrition of plants - a general treatise. In: KHASAWNEH, F.E.; E.C. SAMPLE e E.J. KAMPRATH, Ed. *The Role of Phosphorus in Agriculture*. American Society of Agronomy. p.559-589.
- PASSIOURA, J.B., 1981. Water collection by roots. In: L.G. PALEG e D.ASPINTAL, Ed. *Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. Academic Press. Sydney, p. 39-53.

- PEACOCK, C.H. e A.E. DUDECK, 1985. Effect of irrigation interval on St. Augustinegrass rooting. *Agronomy Journal*. Madison, 77:813-815.
- PEAKE, D.C.I.; D. STIRK and E.E. HENZEL, 1975. Leaf water potential of pastures plants in a semi-arid subtropical environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. East Melbourne, 15:645-654.
- PROFFITT, A.P.B.; P.R. BERLINER e D.M. OOSTERHUIS; 1985. A comparative study of root distribution and water extration efficiency by wheat grown under high-and low-frequency irrigation. *Agronomy Journal*. Madison, 77:655-662.
- REICHMAN, G.A. e D.L. GRUNES, 1966. Effect of water regime and fertilization on barley growth, water use, and N and P uptake. *Agronomy Journal*. Madison, 58:513-517.
- RITCHIE, J.T., 1974. Atmospheric and soil water influences on the plant water balance. *Agricultural Meteorology*. Amsterdam, 14:183-198.
- RITCHIE, J.T., 1981. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. *Plant and Soil*. The Hague, 58:81-96.
- SALINAS, J.G. e R. GARCÍA, 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia. 83p.

- SILSBURY, J.H., 1970. Leaf growth in pasture grasses. *Tropical Grasslands*. St. Lucia, 4:17-36.
- SHARP, R.E.C. e W.J. DAVIES, 1979. Solute regulation and growth by roots and shoots of water- stressed maize plants. *Planta*. Berlin, 149:43-49.
- SHARP, R.E. e W.J. DAVIES, 1985. Root growth and water uptake by maize plants in drying soil. *Journal of Experimental Botany*. Oxford, 36:1441-1456.
- SHARPLEY, A.N. e L.W. REED, 1982. Effect of environmental stress on the growth and amount and forms of phosphorus in plants. *Agronomy Journal*. Madison, 74:19-22.
- THOMAS, H., 1980. Terminology and definitions in studies of grassland plants. *Grass and Forage Science*. Hurley, 35: 13-23.
- TURNER, N.C. e J.E. BEGG, 1978. Responses of pasture plants to water deficits. In: WILSON, J.R. Ed. *Plant Relations in Pasture*. CSIRO, St. Lucia, p.50-66.
- TURNER, N.C. e J.E. BEGG, 1981. Plant water relations and adaptation to stress. *Plant and Soil*. The Hague, 58:97-132.
- VIETS Jr., F.G., 1972. Water deficits and nutrient availability. In: KOZOLOWSKI, T.T. Ed. *Water Deficits and Plant Growth*. Vol. III. Academic Press. New York, p.217-339.

- WARDLOW, I.F., 1969. The effect of water stress on translocation in relation to photosynthesis and growth. II. Effect during leaf development in *Lolium temulentum*. *Australian Journal of Biological Science*. East Melbourne, 22:1-16.
- WATTS, W.R., 1974. Leaf extension in *Zea mays*. III. Field measurement of leaf extension in response to temperature and leaf water potential. *Journal of Experimental Botany*. Oxford, 25:1085-1096.
- WESTGATE, M.E. e J.S. BOYER, 1985. Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem and silk growth at low water potentials in maize. *Planta. Berlin*, 164:540-543.
- WILSON, J.R., 1976. Variation on leaf characteristics with level of insertion on a grass tiller. I. Development rate, chemical composition and dry matter digestibility. *Australian Journal of Agricultural Research*. East Melbourne, 27:343-354.
- WILSON, J.R. e L. H. MANNETJE, 1978. Senescence, digestibility and carbohydrate content of buffel grass and green panic leaves in swards. *Australian Journal of Agriculture Research*, East Melbourne, 29:503-516.
- WILSON, J.R., 1981. The effects of water stress on herbage quality. In: *Proceedings of the International Grassland Congress*. 14 - Lexington, Ky, USA. p.470-472.

WILSON, J.R.; M.M. LUDLOW; M.J. FISHER e E.D. SCHULZE, 1980.

Adaptation to water stress of the leaf water relations of four tropical forage species. *Australian Journal of Plant Physiology*. East Melbourne, 7:207-220.

WILSON, J.R., 1982. Environmental and nutritional factors affecting herbage quality. In: HACKER, J.B.; Ed. *Nutritional Limits to Animal Production from Pastures*. St. Lucia, p. 111-131.

WILSON, J.R., 1983. Effects of water stress on *in vitro* dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. *Australian Journal of Agriculture Research*. East Melbourne, 34:377-390.

WITHERS, N.J. e B.J. FORDE, 1979. Effects of water stress on *Lupinus albus*. III. Response of seed yield and vegetative growth to water stress imposed during two or three growth stages. *New Zealand Journal of Agriculture Research*. Wellington, 22:463-474.

ZAGATTO, E.A.G.; A.O. JACINTHO; B.F. KRUG; H. BERGAMIN FILHO; L.C.R. PESSENDA; J. MORTATTI e M.F. GINE, 1981. *Manual de análises de plantas e águas empregando sistemas de injeção de fluxo*. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. 45p.

APÊNDICE

Tabela 10- Análise de variância para taxa de expansão foliar e taxa de emergência foliar

Causa de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios e Níveis de Significância	
		Taxa de expansão foliar	Taxa de emergência foliar
Umidade	2	125,3852**	32,1236n.s.
Resíduo (A)	6	1,8659	22,4243
Época	28	54,2489**	6,3941**
Um x Época	56	3,1517**	0,2545**
Resíduo (B)	168	0,8223	0,0592
(U1)	(28)		
Linear	1	476,8794**	106,4080**
Quadrática	1	0,2467n.s.	2,5233**
Cúbica	1	41,9593**	0,0022n.s.
Quártica	1	1,6529n.s.	0,1058n.s.
Desvios	(24)	1,7140**	0,0568n.s.
(U2)	(28)		
Linear	1	239,6125**	37,7537**
Quadrática	1	4,8314**	1,1959**
Cúbica	1	1,4025n.s.	0,3678**
Quártica	1	10,2198**	0,0153n.s.
Desvios	(24)	1,6986**	0,03043n.s.
(U3)	(28)		
Linear	1	737,8714**	38,1484**
Quadrática	1	7,7775**	1,6597**
Cúbica	1	30,5994**	1,0322**
Quártica	1	2,5568*	0,7792**
Desvios	(24)	2,4147**	0,0501n.s.

Coeficiente de variação (%): (A) 4,67 (extensão); 8,49 (emergência)
 (B) 16,70 (extensão); 2,35 (emergência)

Tabela 11 - Análise de variância para peso seco da parte aérea, matéria orgânica da raiz e relação raiz:parte aérea

Causa de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios e Níveis de Significância		
		Peso seco da parte aérea	Matéria org. da raiz	Relação raiz: parte aérea
Umidade	2	1746,1944**	89,6253**	0,0002n.s.
Época	3	1687,6574**	155,5389**	0,0133**
Um x Épo	6	90,6018**	9,6753**	0,0011n.s.
Resíduo	24	15,6389	2,5675	0,0007
(U1)	(3)			
Linear	1	3330,15**	340,8167**	0,0202**
Quadrática	1	4,0833n.s.	0,6533n.s.	0,0016n.s.
Desvios	1	43,35n.s.	0,2667n.s.	0,0007n.s.
(U2)	(3)			
Linear	1	1363,2667**	96,5201**	0,0058**
Quadrática	1	8,3333n.s.	0,3675n.s.	0,001n.s.
Desvios	1	1,0667n.s.	2,2815n.s.	0,0007n.s.
(U3)	(3)			
Linear	1	763,2667**	83,3082**	0,0115**
Quadrática	1	48,0n.s.	0,0208n.s.	0,0007n.s.
Desvios	1	45,0667n.s.	0,4335n.s.	0,0002n.s.

Coeficiente de variação (%): 10,18 (peso seco da parte aérea);
19,55 (matéria orgânica da raiz); 13,57 (relação raiz:parte aérea)

Tabela 12 - Análise de variância para número de folhas por planta, número de folhas por perfilho e número de perfilhos por planta

Causa da variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios e Níveis de Significância		
		Nº de folhas/planta	Nº de folhas/perfilho	Nº de perfilhos/planta
Umidade	2	521,8667**	0,9722**	16,2889**
Época	4	417,4111**	2,7878**	6,1889**
Umidade x Época	8	53,3944**	0,2203**	0,7056n.s.
Resíduo	30	12,9556	0,0696	1,3778
<hr/>				
(U1)	(4)			
Linear	1	974,7**	3,675**	12,0333**
Quadrática	1	262,5**	1,3393**	2,8809n.s.
Cúbica	1	36,3n.s.	0,0333n.s.	4,8 n.s.
Desvios	1	39,4333n.s.	0,3857*	0,019 n.s.
<hr/>				
(U2)	(4)			
Linear	1	264,0333**	2,5813**	0,8333n.s.
Quadrática	1	61,9286*	0,8571**	0,2143n.s.
Cúbica	1	4,80 n.s.	0,2253n.s.	3,3333n.s.
Desvios	1	0,1714n.s.	0,0429n.s.	0,019 n.s.
<hr/>				
(U3)	(4)			
Linear	1	50,7 n.s.	0,3853*	0,5333n.s.
Quadrática	1	360,2143**	3,2038**	0,8571n.s.
Cúbica	1	24,3 n.s.	0,1081n.s.	4,8 n.s.
Desvios	1	17,719 n.s.	0,0762n.s.	0,0762n.s.

Coefficiente de variação (%): 10,44 (nº de folhas/planta); 6,74 (nº de folhas/perfilho); 13,41 (nº de perfilhos/planta)

Tabela 13 - Análise de variância para % de fósforo e mg de fósforo na parte aérea

Causa da variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios e Níveis de Significância	
		% de P	mg de P
Umidade	2	0,0005n.s.	2498,7778**
Éoca	3	0,0203**	240,037 **
Umi x Épo	6	0,0004n.s.	90,5926n.s.
Resíduo	24	0,0002	50,1944
<hr/>			
(U1)	(3)		
Linear	1	0,022**	317,4*
Quadrática	1	0,0061**	432,0 **
Cúbica	1	0,0001n.s.	11,2667n.s.
<hr/>			
(U2)	(3)		
Linear	1	0,0129**	459,2667**
Quadrática	1	0,0008*	16,3333n.s.
Cúbica	1	0,0001n.s.	5,40 n.s.
<hr/>			
(U3)	(3)		
Linear	1	0,0194**	5,40 n.s.
Quadrática	1	0,0016**	16,3333n.s.
Cúbica	1	0,0003n.s.	0,2667n.s.

Coeficiente de variação (%): 8,54 (% de P); 13,11 (mg de P)

Tabela 14 - Análise de variância para % de potássio e mg de potássio na parte aérea

Causa da variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios e Níveis de Significância	
		% de K	mg de K
Umidade	2	1,2915 **	10002,25*
Época	3	6,2972 **	58600,5926 **
Umi x Épo	6	0,0451 n.s.	7180,287 *
Resíduo	24	0,0429	2683,3333
(U1)	(3)		
Linear	1	4,9766 **	124579,2667**
Quadrática	1	0,5547 **	10325,3333 n.s.
Desvios	1	0,0003 n.s.	385,0667 n.s.
(U2)	(3)		
Linear	1	7,350 **	18762,0167 **
Quadrática	1	0,0768 n.s.	8164,0833 n.s.
Desvios	1	0,0007 n.s.	126,15 n.s.
(U3)	(3)		
Linear	1	5,766 **	55510,4167 **
Quadrática	1	0,3888 **	630,75 n.s.
Desvios	1	0,0482 n.s.	400,4167 n.s.

Coeficiente de variação (%): 13,55 (% de K); 10,06 (mg de K)

Tabela 15 - Análise de variância para % de cálcio e mg de cálcio na parte aérea

Causa da variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios e Níveis de Significância	
		% de Ca	mg de Ca
Unidade	2	0,0244**	64353,25**
Época	3	0,09783**	11717,3611**
Umi x Épo	6	0,0059*	1224,1389n.s.
Resíduo	24	0,0024	914,5556
<hr/>			
(U1)	(3)		
Linear	1	0,1540**	16934,4**
Quadrática	1	0,0005n.s.	1875,0 n.s.
Desvios	1	0,0008n.s.	299,2667n.s.
<hr/>			
(U2)	(3)		
Linear	1	0,0322**	13231,35**
Quadrática	1	0,0061n.s.	494,0833n.s.
Desvios	1	0,0037n.s.	36,8167n.s.
<hr/>			
(U3)	(3)		
Linear	1	0,1127**	1560,6 n.s.
Quadrática	1	0,0133*	7905,3333**
Desvios	1	0,006 n.s.	160,0667n.s.

Coeficiente de variação (%): 9,07 (% de Ca); 15,05 (mg do Ca)

Tabela 16 - Análise de variância para % de magnésio e mg de magnésio na parte aérea

Causa da variação	Graus de liberdade	Quadros Médios e Níveis de Significância	
		% de Mg	mg de Mg
Umidade	2	0,0119**	26370,25**
Época	3	0,0092**	16423,6574**
Umidade x Época	6	0,0081**	541,8796n.s.
Resíduo	24	0,0012	337,9167
(U1)	(3)		
Linear	1	0,0350**	18235,2667**
Quadrática	1	0,0001n.s.	705,3333n.s.
Desvios	1	0,0034n.s.	8,0667n.s.
(U2)	(3)		
Linear	1	0,0071*	21888,6**
Quadrática	1	0,0102**	243,0 n.s.
Desvios	1	0,0004n.s.	273,0667n.s.
(U3)	(3)		
Linear	1	0,0043n.s.	7638,8167**
Quadrática	1	0,0091*	3502,0833**
Desvios	1	0,0066*	28,0167n.s.

Coefficiente de variação (%): 8,90 (% de Mg); 12,25 (mg de Mg)

Tabela 17 - Análise de variância para % de enxôfre e mg de enxôfre na parte aérea

Causa da variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios e Níveis de Significância	
		% de S	mg de S
Umidade	2	0,0009n.s.	5353,6944**
Época	3	0,0599**	82,1852n.s.
Umi x Épo	6	0,0019*	156,1018n.s.
Resíduo	24	0,0005	164,4444
(U1)	(3)		
Linear	1	0,0889**	54,15n.s.
Quadrática	1	0,0091**	90,75n.s.
Desvios	1	0,0001n.s.	6,0167n.s.
(U2)	(3)		
Linear	1	0,0522**	421,35n.s.
Quadrática	1	0,0007n.s.	6,75n.s.
Desvios	1	0,0002n.s.	8,8167n.s.
(U3)	(3)		
Linear	1	0,0375**	77,0667n.s.
Quadrática	1	0,0001n.s.	507,0n.s.
Desvios	1	0,0027*	0,0685n.s.

Coeficiente de variação (%): 9,39 (% de S); 14,79 (mg de S)

Tabela 18 - Análise de variância para eficiência do uso de fósforo e eficiência do uso de potássio

Causa da variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios e Níveis de Significância	
		Efic.do uso de P	Efic. do uso de K
Umidade	2	21558,3333n.s.	6145,75**
Época	3	343699,2963**	14298,0 **
Umi x Épo	6	11263,7407n.s.	781,75**
Resíduo	24	5847,5	131,5
<hr/>			
(U1)	(3)		
Linear	1	395606,4**	28210,167**
Quadrática	1	92225,3333**	18,75 n.s.
Desvios	1	37800,6*	620,8167*
<hr/>			
(U2)	(3)		
Linear	1	250131,2667**	10166,0167**
Quadrática	1	2883,0 n.s.	630,75*
Desvios	1	194,4 n.s.	12,15 n.s.
<hr/>			
(U3)	(3)		
Linear	1	298779,2667**	7661,4**
Quadrática	1	7500,0 n.s.	8,3333n.s.
Desvios	1	13560,0667n.s.	256,2667n.s.

Coeficiente de variação (%): 10,80 (EUP); 14,27 (EUK)