

**AVALIAÇÃO DAS RESPOSTAS FISIOLÓGICAS  
E DE PRODUTIVIDADE BIOLÓGICA DE CULTIVARES  
DE CAUPI [ *Vigna unguiculata* (L.) Walp ]  
SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

**LUIZ GONZAGA REBOUÇAS FERREIRA**

TESE APRESENTADA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
DO CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
COMO REQUISITO PARA CONCURSO DE PROFESSOR TITULAR

FORTALEZA  
**1992**

Ao meu inesquecível pai,  
José Guilherme Ferreira

À minha adorada mãe,  
Eurice Rebouças Ferreira

À minha irmã Maria Tereza e ao  
meu mano William

MINHA GRATIDÃO

À minha querida Gláucia  
e aos meus filhos Danielle,  
Glauber e Isabelle.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização com êxito desse trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u> .....	vi
<u>LISTA DE FIGURAS</u> .....	xi
<u>RESUMO</u> .....	xvi
<u>ABSTRACT</u> .....	xviii
1 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2 - <u>REVISÃO DA LITERATURA</u> .....	4
2.1 - <u>A Seca e as Limitações da Produção no Semi-Árido</u> ..	4
2.2 - <u>Mecanismos Fisiológicos de Resistência à Seca</u> ...	7
2.3 - <u>Respostas das Plantas ao Estresse Hídrico</u> .....	11
2.4 - <u>Eficiência de Uso de Água das Culturas</u> .....	14
3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u> .....	17
3.1 - <u>Caracterização do Local do Experimento</u> .....	17
3.2 - <u>Condições de Cultivo</u> .....	18
3.3 - <u>Determinação Físico-Hídricas do Solo</u> .....	26
3.3.1 - Capacidade de Campo (Método Direto no Campo) ..	26
3.3.2 - Massa Específica do Solo .....	26
3.3.3 - Curva Característica da Umidade do Solo .....	27
3.4 - <u>Determinação do Potencial Hídrico</u> .....	27
3.5 - <u>Determinação do Teor de Clorofila Total</u> .....	29
3.6 - <u>Determinação do Teor de Proteína</u> .....	30
3.7 - <u>Determinação do Teor de Lipídios Totais</u> .....	32

3.8 - <u>Determinação da Produtividade Biológica e Com-</u> <u>ponentes de Produção</u> .....	33
3.9 - <u>Delineamento Estatístico</u> .....	34
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	35
4.1 - <u>Potencial Hídrico Foliar</u> .....	35
4.2 - <u>Teor de Proteína Total nos Extratos Foliare..</u>	43
4.3 - <u>Teores de Clorofila Total nos Extratos Foliare..</u>	49
4.4 - <u>Teores de Lipídios Totais nos Extratos Foliare..</u>	55
4.5 - <u>Determinação da Área Foliar</u> .....	60
4.6 - <u>Determinação do Peso Seco da Parte Aérea</u> .....	66
4.7 - <u>Variações no Número Médio de Vagens por Planta</u> .....	71
4.8 - <u>Tamanho Médio das Vagens</u> .....	75
4.9 - <u>Número Médio de Grãos por Vagem</u> .....	78
4.10 - <u>Peso Médio de 100 Grãos</u> .....	81
4.11 - <u>Peso do Pericarpo</u> .....	83
4.12 - <u>Produção Total de Grãos</u> .....	87
4.13 - <u>Eficiência do Uso de Água</u> .....	91
4.14 - <u>Variações nos Índices de Colheita</u> .....	94
5 - <u>CONCLUSÕES</u> .....	99
6 - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	102

## LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
1 Lâminas de água aplicadas e precipitações pluviométricas ocorridas durante o período experimental .....	23
2 Valores do potencial hídrico das folhas de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (33 DAG).....	36
3 Valores do potencial hídrico das folhas de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (40 DAG).....	38
4 Valores do potencial hídrico das folhas de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (47 DAG).....	39
5 Valores do potencial hídrico das folhas de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG).....	41

6	Valores do teor de proteínas totais (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (40 DAG).....	44
7	Valores do teor de proteínas totais (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG).....	45
8	Valores do teor de clorofila total (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (40 DAG) .....	50
9	Valores do teor de clorofila total (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG).....	53

10	Valores do teor de lipídios totais (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (40 DAG).....	56
11	Valores do teor de lipídios totais (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG).....	58
12	Valores da área foliar (dm <sup>2</sup> ) de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (40 DAG).....	61
13	Valores da área foliar (dm <sup>2</sup> ) de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG).....	63
14	Valores do peso seco da parte aérea (g/planta) de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (40 DAG)...	67

15	Valores do peso seco da parte aérea (g/planta) de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG)...	69
16	Valores do número de vagens por planta de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.....	72
17	Valores do tamanho médio de vagens (cm) de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.....	76
18	Valores do número médio de grãos por vagem de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.....	79
19	Valores do peso médio de 100 grãos (g) de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.....	82

20	Valores do peso do pericarpo (kg/ha) de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.....	85
21	Valores da produção total de grãos (kg/ha) de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.....	88
22	Valores da eficiência do uso de água (kg/ha/mm) de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.....	92
23	Valores dos índices de colheita de quatro cultivares de caupi ( <u>Vigna unguiculata</u> (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.....	95

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Variações da distribuição das lâminas de água diferenciadas nos diversos tratamentos de disponibilidade hídrica. X = pluviômetro localizado a 0,5m da linha central dos aspersores .....	20
2	Esquema do "Line Source Sprinkler Irrigation System" usado no experimento .....	22
3	Curva característica de umidade do solo aluvial eutrófico da área experimental na camada de 0 a 30cm. ....	28
4	Variações do teor de proteínas totais nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 40 DAG .....	46
5	Variações do teor de proteínas totais nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 54 DAG .....	47

6	Variações do teor de clorofila total nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 40 DAG .....	52
7	Variações do teor de clorofila total nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 54 DAG .....	54
8	Variações do teor de lipídios totais nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 40 DAG .....	57
9	Variações do teor de lipídios totais nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 54 DAG .....	59
10	Variações da área foliar de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 40 DAG .....	62

11	Variações da área foliar de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 54 DAG .....	64
12	Variações do peso seco da parte aérea de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 40 DAG .....	68
13	Variações do peso seco da parte aérea de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 54 DAG .....	70
14	Variações do número de vagens por planta de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica .....	73
15	Variações do tamanho médio de vagens de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica ..	77

16	Variações do número médio de grãos por vagem de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica .....	80
17	Variações do peso médio de 100 grãos de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica . .....	84
18	Variações do peso do pericarpo de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica .....	86
19	Variações da produção total de grãos de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica . .....	89
20	Variações da eficiência do uso de água de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica .....	93

21	Variações dos índices de colheita de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica .....	96
----	--	----

## RESUMO

Experimentos de campo foram conduzidos para examinar possíveis mecanismos de adaptação do caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp) à seca objetivando programas de seleção de cultivares e manejo de irrigação para zonas semi-áridas. Quatro cultivares de caupi (BR-1, Epace-1, Mimoso e Pitiúba) foram submetidas a cinco diferentes níveis de irrigação em linha (Line Source System) em solo aluvial eutrófico durante a estação seca. No tratamento controle ( $T_1$ ) as plantas foram irrigadas sempre que o potencial mátrico do solo atingia  $-0,04$  MPa. O conteúdo de água do solo foi determinado com uma sonda de nêutrons e o status de água das plantas foi medido com uma câmara de pressão. Todas as cultivares exibiram intensa esquivã à seca na presença de alta demanda evaporativa e crescente déficit de água no solo com os valores de potencial hídrico foliar permanecendo acima de  $-1,4$  MPa. Aumentos no nível da seca induziram reduções significativas na área foliar e peso seco da parte aérea e podem ser considerados como mecanismos efetivos de esquivã à seca. Essas reduções e outros mecanismos reguladores de perda de água podem explicar a manutenção de valores de potencial hídrico relativamente elevados nas plantas submetidas a severos déficits de água no solo. Controle da perda de água pareceu ser o fator principal em determinar a tolerância à seca pelo caupi. Crescentes déficits de água no solo induziram re-

duções nos teores de proteínas e clorofila total aos 40 e 54 dias após a germinação (DAG) e no teor de lipídios totais (40 DAG). Estresse hídrico não modificou significativamente os teores de lipídios totais dos 54 DAG. O déficit de água no solo não causou modificações significativas no comprimento das vagens, número de grãos por vagem e peso seco de 100 grãos. A maior produção de grãos foi obtida no tratamento medianamente úmido ( $T_2$ ) e não no controle ( $T_1$ ). Reduções progressivas nas quantidades de água disponíveis no solo induziram diminuições crescentes na produção de grãos/hectare. Decréscimos na produção de grãos em resposta a falta de água no solo foram principalmente devidos a reduções no número de vagens/planta. O valor mais alto de eficiência de uso de água (EUA) foi observado em  $T_2$  (5,4 kg de grãos/ha/mm). Os tratamentos  $T_1$ ,  $T_3$  e  $T_4$  não diferiram em EUA e o valor mais baixo (3,9 kg de grãos/ha/mm) foi observado no tratamento mais seco ( $T_5$ ). O índice de colheita não foi significativamente modificado pela variação da água disponível no solo.

## ABSTRACT

Field studies were conducted to examine possible mechanisms of cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp) adaptation to drought to guide programs for the development of improved cultivars and irrigation management practices for semi-arid zones. Four cowpea cultivars (BR-1, Epace-1, Mimoso and Pitiúba) were subjected to five different levels of irrigation using a line source sprinkler system on eutrophic alluvial soil during the dry season. Well-watered plants ( $T_1$ ) were irrigated when the soil matric potential reached  $-0.04$  MPa. Soil water content was determined with a neutron scattering device and plant water status measurements were made with a pressure chamber. All cultivars exhibited extreme drought avoidance in the presence of high evaporative demands and progressive soil deficit with leaf water potential remaining above  $-1.4$  MPa. Increasing levels of drought induced significant reduction in leaf area and shoot dry weight and may be considered an effective drought avoidance mechanism. Those reductions and other mechanisms for regulating water loss rates could explain the maintenance of relatively high water potential in plants subjected to severe soil water deficit. Regulation of water loss appeared to be a major factor in determining drought avoidance by cowpeas. Progressive soil water deficits induced increasing

reductions in the amounts of leaf proteins and chlorophylls at 40 and 54 days after germination (DAG) and in the amount of total lipids (40 DAG). Water stress did change significantly the amount of total lipids at 54 DAG. Soil water deficit did not cause significant changes in pod length, number of grains/pods and 100 grains dry weight. The highest yield was obtained in the medium wet treatment ( $T_2$ ), not in the wettest treatment ( $T_1$ ). Progressive reductions in the amount of available soil water induced increasing reductions in yield. Reductions in yield due to soil water stress were mainly sink limited due to decrease in the number of pods/plant. The highest value of water use efficiency (WUE) was observed in  $T_2$  (5.4 kg of grains/ha/mm). Treatments  $T_1$ ,  $T_3$  and  $T_4$  did not differ in WUE and the lowest value (3.9 kg/ha/mm) was observed in the driest treatment ( $T_5$ ). The harvest index was not significantly modified by varying available soil water.

## 1 - INTRODUÇÃO

Nas regiões semi-áridas, a carência de chuvas e as elevadas temperaturas são os fatores mais limitantes da produção agrícola. A solução da engenharia, através do armazenamento superficial e transposição de água tem se mostrado dispendiosa e enfrentado a falta de comprometimento dos condutores da política agrícola. Com a solução química, pelo emprego de antitranspirantes, perdendo o impulso inicialmente observado, resta aos pesquisadores a aplicação da solução agronômica. Essa consiste na seleção e avaliação do comportamento de genótipos que sejam ao mesmo tempo tolerantes à seca, eficientes no uso de água e produtivos, quando cultivados sob condições ambientais adversas.

O caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp) é uma cultura tradicionalmente cultivada nas regiões semi-áridas como fonte de grãos para a alimentação humana (SUMMERFIELD et al., 1974). Na região semi-árida do Sudão, o caupi foi capaz de produzir grãos, o que não foi conseguido por outras culturas resistentes à seca como o sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) e o milheto (Pennisetum americanum (L.) Leeker). Quando irrigado, o caupi produz no Vale Central da Califórnia até 4 toneladas de grãos por hectare o que demonstra a elevada potencialidade da cultura em termos de produtividade (SUMMERFIELD et al., 1985). Segundo LIGON (1958) o caupi produz mais satisfatoriamente sob grande diversidade de cli

ma, solo e tratos culturais do que a maioria das leguminosas.

As cultivares de caupi selecionadas para plantio no Nordeste foram, geralmente, estudadas em termos de variações nos índices de colheita em resposta ao ambiente, sem isolar a carência hídrica como fator limitante. Por esta razão, torna-se imprescindível que as cultivares tradicionalmente disseminadas no semi-árido do Nordeste sejam estudadas em termos de resposta ao déficit hídrico e que os mecanismos fisiológicos de resistência à seca sejam analisados.

As plantas mesofílicas, em especial, as de crescimento indeterminado apresentam uma grande plasticidade genotípica que muito contribui para suas adaptações ao estresse hídrico. A manifestação dessa característica depende da ação integrada e harmônica de todos os componentes metabólicos responsáveis pelo comportamento da planta como um todo. A manutenção da compartimentalização física celular permite a ocorrência de diversas reações metabólicas concomitantes sem comprometimento do equilíbrio entre as partes vegetais. No entanto, quando o estresse hídrico nos tecidos atinge um valor crítico, possivelmente, há o comprometimento da integridade funcional das membranas desencadeando alterações metabólicas degenerativas. Por essa razão, além das modificações dos parâmetros de crescimento e produção, há necessidade de se analisar as modificações ao nível celular.

Estudos de campo foram procedidos em quatro cultivares de caupi (BR-1, Epace-1, Mimoso e Pitiúba) submetidas a cinco diferentes níveis de carência hídrica no solo. Os obje

tivos desta pesquisa foram: a) quantificar as influências de progressivos déficits de água no solo sobre os valores de potencial hídrico foliar; b) mensurar o grau de tolerância protoplasmática celular de plantas submetidas a alta demanda evaporativa e baixa disponibilidade hídrica no solo; c) analisar os mecanismos adaptativos do caupi à seca expressos através das modificações dos parâmetros de crescimento e dos componentes de produção.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - A Seca e as Limitações da Produção no Semi-Árido

Nas regiões áridas e semi-áridas, a ocorrência de períodos sem chuvas significativas induz graves perdas na produção agrícola, com sérias consequências econômico-sociais. Esse fenômeno é caracterizado como seca, e se enquadra na visão da maioria das pessoas, por combinar os fatores tempo e deficiência de chuvas. No entanto, a definição de seca é mais abrangente e complexa.

Segundo KATZ & GLANTZ (1977), a seca deve ser definida pelos seus componentes meteorológicos e agrícolas. A seca meteorológica é caracterizada como aquele período de tempo no qual a quantidade de chuva é menor do que a média definida a longo prazo. Sob o ponto de vista agrícola, a seca para se manifestar deve reduzir a disponibilidade de água no solo e, eventualmente, se manifestar por um déficit nos tecidos afetando o desenvolvimento sazonal da cultura. Nas economias estáveis, a ocorrência de seca só é considerada quando há um aumento atípico nos preços agrícolas. Os danos sócio-econômicos da seca são menos dramáticos nas regiões áridas por serem essas áreas menos importantes na produção de alimentos. As regiões tropicais semi-áridas são mais susceptíveis do que as regiões temperadas por estarem sujeitas

a altas demandas evaporativas e os solos normalmente terem baixa capacidade de retenção de água. Cerca de 600 milhões de pessoas vivem em regiões semi-áridas do mundo. Desse total, 80% vivem nas regiões semi-áridas tropicais, nas quais a agricultura de sequeiro é uma atividade de alto risco e quando ocorre a seca, os produtores dispõem de poucas alternativas viáveis (SWINDALE & BIDINGER, 1981). A incerteza na agricultura induz baixas taxas de investimento o que explica a pobreza normalmente presente nas áreas sujeitas às secas intermitentes. As nações que são predominantemente susceptíveis à seca são subdesenvolvidas.

É possível, no entanto, tornar a exploração agrícola economicamente viável nas regiões atingidas pela carência hídrica. Uma maneira de superar essa limitação seria através de uma solução de engenharia, que consistiria na transposição de água interligando bacias hidrográficas. Tem sido considerada, contudo, uma solução econômica e politicamente inviável em decorrência dos altos custos envolvidos. Como a solução química obtida através do emprego de antitranspirante perdeu o impulso inicialmente observado, os profissionais envolvidos na busca de superação desta limitação ambiental tiveram de recorrer à solução agronômica. Esta consiste na seleção e avaliação do comportamento de variedades tolerantes à seca, quando submetidas à carência hídrica e da geração de novas técnicas de manejo das culturas irrigadas.

O conhecimento da fisiologia das plantas sob condições de estresse hídrico e a identificação de parâmetros

que pudessem ser usados pelos melhoristas na seleção e criação de novas cultivares, concorreria para reduzir os riscos e aumentar a produtividade.

No caso específico do caupi, ele é cultivado nas regiões semi-áridas onde há a ocorrência de seca e altas temperaturas, com efeitos interativos adversos sobre os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas. Num processo de melhoramento para resistência à seca, a primeira fase consiste em determinar o tipo e frequência da seca que ocorre nas áreas de produção para as quais a cultivar está sendo desenvolvida (HALL & PATEL, 1985). Quando o período de chuvas é curto, mas consistente, as cultivares devem ser de ciclo curto e com sincronização de florescimento. Esse tipo de cultivar também é o adequado para culturas irrigadas. No caso específico do semi-árido do Nordeste do Brasil, no qual as precipitações são irregularmente distribuídas, há necessidade de criar cultivares de ciclo longo com alta plasticidade fenológica (florescimento sequencial). O sistema radicular, independente do tipo de seca, deve ser de dimensões médias (HALL, 1981). Segundo PASSIOURA (1982), o ganho adicional de absorção de água pelo desenvolvimento de um sistema radicular mais profundo é negativamente contrabalançado por alto investimento de carboidratos.

Cultivares com melhor eficiência de uso de água (EUA) produzem mais biomassa em ambientes com limitação hídrica. Infelizmente, métodos para quantificar a EUA são difíceis. Como a mudanças das condições climáticas são inviáveis, a solução

para uma exploração agrícola racional depende das modificações dos indivíduos através da seleção e melhoramento.

O melhoramento genético para a seleção de cultivares mais tolerantes à seca deveria incorporar maiores e mais uniformes taxas de produção. Aumento no índice de estabelecimento de plântulas em condições desfavoráveis, produziria raízes mais profundas e extensas que permitiriam uma maior absorção de água no solo. Esta abordagem que levaria a planta a absorver mais água do solo sem modificar a relação entre produção por unidade de água usada deve, contudo, ser considerada como "defensiva" com relação ao aumento de eficiência do uso de água. Uma abordagem "ofensiva" seria aquela que modificasse a anatomia, morfologia e fisiologia das plantas induzindo maior produção por unidade de água usada.

## 2.2 - Mecanismos Fisiológicos de Resistência à Seca

O déficit de chuva é traduzido em carência de água no solo em função da taxa de evaporação durante o período sem precipitações e das características químicas e físicas do solo. A resposta da planta a essa situação depende, em parte, do grau de demanda evaporativa do ar. É importante também considerar numerosas características das plantas que influenciam a absorção de água, a taxa de transpiração e as suas respostas ao déficit hídrico gerado. Segundo JONES et

al. (1981), é a capacidade que tem a planta de suportar o déficit de chuva que constitui a sua resistência à seca.

Três tipos primários de resistência à seca foram identificados (MAY & MILTHORPE, 1962; TURNER, 1979). O primeiro, "fuga à seca", que consiste na habilidade da planta em completar seu ciclo vital antes que ocorra um severo déficit hídrico ao nível dos tecidos. O segundo, "tolerância à seca com alto potencial hídrico nos tecidos", que é a habilidade que a planta tem de suportar períodos de déficit de chuva mantendo alto potencial hídrico nos tecidos. Muitos autores (LEVITT, 1972; ARNON, 1975; O'TOOLE & CHANG, 1979) simplificam esse conceito classificando-o de "esquiva à seca" (drought avoidance). Nesse caso, as plantas através dos seus mecanismos evitam que a seca externa se manifeste nos seus tecidos. Finalmente, ocorre a "tolerância à seca com baixos potenciais hídricos nos tecidos" que expressa a capacidade da planta de suportar a carência de chuva com baixos valores de potencial hídrico nos seus tecidos. Nessa classificação, o termo seca é empregado no sentido meteorológico evitando confusão com o conceito de déficit hídrico na planta.

Diversos mecanismos são apresentados pelas plantas para tolerar a seca. Muitos deles visam assegurar a sobrevivência das espécies. No entanto, como nas culturas agrícolas se busca uma produção economicamente viável é importante enfatizar os mecanismos que matêm a produtividade e aumentam a eficiência reprodutiva com condições de estresse.

As plantas que apresentam "escape à seca" têm duas características marcantes: rápido desenvolvimento e plasticidade fenológica. Seleção para essas características tem se mostrado eficiente na obtenção de cultivares resistentes à seca. No entanto, como MAY & MILTHORPE (1962) apontaram, precocidade está, em geral, negativamente correlacionada com a produção nos anos de chuvas adequadas. Nas culturas indeterminadas, como caupi, a plasticidade fenológica pode ser mais facilmente expressa, tornando-as mais flexíveis em termos de ajustamento às variações ambientais. A contração do tempo entre o início da floração e a maturidade, em resposta as altas temperaturas tem se constituído, no entanto, em importante fator limitante.

A tolerância à seca com alto potencial hídrico nos tecidos pode ser associada com um controle na perda de água ou manutenção na capacidade de absorção de água pelas plantas. Nesse último caso, um maior volume de solo deve ser explorado ou a água, dentro de um determinado volume particular de solo, deve ser extraída ao máximo. Isso seria alcançado pelo aprofundamento das raízes ou por um aumento na densidade das mesmas (FISCHER & TURNER, 1978). O aumento da condutância hidráulica no interior das plantas também concorreria para aumentar o nível de hidratação dos tecidos. Segundo KRAMER (1983), a maior resistência ao fluxo de água se encontra nas raízes.

A redução na perda de água seria obtida pela diminuição da condutância epidérmica. Esse controle seria essen

cialmente estomático e implicaria no decréscimo na assimilação de carbono com os consequentes efeitos sobre a produtividade (COWAN, 1977). Esse controle deve ser associado aos mecanismos de sobrevivência e não aos capazes de otimizar a produtividade.

Um segundo mecanismo para redução de perda de água é a diminuição da quantidade de radiação absorvida. Isso pode ser alcançado por mudanças nas características de refletância ou pelo movimento foliar. TURK & HALL (1980b) demonstraram que em caupi os folíolos se alinham paralelamente a radiação incidente à medida que o déficit hídrico aumenta. O movimento passivo resultante da murcha também reduz a carga de radiação absorvida (JONES et al., 1981).

Finalmente, a perda de água por parte das plantas pode ser diminuída através da redução da área da superfície transpirante. Em outras culturas, a carência de água no solo induz significativas reduções na superfície foliar como observado em caupi (PORTO FILHO, 1986) e em algodão (FARIA, 1990).

Muitas plantas tem protoplasma capaz de suportar longos períodos com baixos teores de água. São plantas tolerantes à dessecação (poikilohídricas). A perda controlada de água pelas plantas poikilohídricas, segundo STOCKER (1961) induz uma desidratação do citoplasma de tal maneira que a maquinária metabólica possa ser reconstituída para funcionamento normal após a reidratação. Uma propriedade dessas plantas é manter alto potencial osmótico (GAFF, 1977). As

características de tolerância a dessecação das plantas poikilohídricas formam um caso especial. Elas dependem de propriedades estruturais químicas e físicas peculiares diferentes daquelas encontradas em outras plantas, em especial nas mesófilas. Suas propriedades estão essencialmente ligadas a sobrevivência. Para os que estão interessados em mecanismos de resistência à seca que permitam alcançar níveis rentáveis de produtividade, sua importância fica limitada.

### 2.3 - Respostas das Plantas ao Estresse Hídrico

Em decorrência da evolução da vida em meio aquático, a água desempenha funções vitais como elemento crítico de processos como a fotólise na assimilação de  $\text{CO}_2$  a interações hidrofóbicas estabilizadoras das macromoléculas. Segundo KRAMER (1983), a água participa como constituinte do protoplasma, sendo juntamente com as proteínas, um dos componentes mais importantes. A água funciona como reagente em importantes processos vitais como a fotossíntese e as reações hidrolíticas. Outra função importante é a de atuar como solvente para gases, elementos minerais e outros solutos, permitindo a sua distribuição pela planta. Finalmente, a água é responsável pela manutenção da turgescência que é essencial para os processos de crescimento e desenvolvimento, de definição da forma de muitas partes vegetais e funcionamento

12

dos estômatos.

Sendo a planta um organismo integrado com numerosos controles, a ocorrência de déficit hídrico nos tecidos induz extensas alterações secundárias e terciárias, em adição aos efeitos primários do estresse. O nível de profundidade das alterações depende da intensidade e duração do estresse hídrico. Em termos fisiológicos, a sequência das mudanças sofridas pelas plantas quando a falta de água se desenvolve, varia entre as diversas espécies.

A primeira alteração em resposta ao déficit hídrico é a redução dos processos de crescimento do caule e das folhas induzida pelos baixos valores de potencial de turgescência. Provalvemente, essas modificações estão relacionadas com a redução na síntese das paredes celulares e das proteínas nos tecidos com alta potencialidade de crescimento. Segundo HSIAO (1973), reduções subsequentes do potencial hídrico afetam a divisão celular e reduzem o nível de diversas enzimas. Os estômatos começam a fechar, há redução nas taxas de transpiração e de assimilação de  $\text{CO}_2$  e há o acúmulo de ácido abscísico. Neste ponto, começam a se evidenciar modificações secundárias e terciárias. O progresso do estresse hídrico induz diminuição da respiração e da translocação de fotoassimilados, e o nível de citocinina nas células foliares atinge baixos valores críticos. A ação das enzimas hidrolíticas aumenta e o transporte dos íons, por serem dependentes de energia metabólica, é reduzido.

Finalmente, quando o estresse hídrico se torna severo, a atividade fotossintética é reduzida significativamente, e há o acúmulo de prolina em resposta a lesões dos tecidos (FERREIRA et al., 1979). Geralmente, há o início da senescência e a abscisão das folhas mais velhas. Dependendo do grau de tolerância à seca da cultura, superação da carência hídrica no solo pode tornar alguns dos processos reversíveis, em especial, nos tecidos jovens (MELO, 1989).

Analisando-se os efeitos do estresse hídrico sobre as macromoléculas, a síntese de proteínas é considerada como um dos processos mais sensíveis (SHAH & LOOMIS, 1965). Estudos sobre a incorporação de aminoácidos marcados às proteínas conduzidos por BEN-ZIONI et al. (1967) confirmaram que o déficit hídrico reduz sua síntese. BARLOW et al. (1976) observaram que após três horas de desidratação de folhas de milho houve uma redução de 40% na concentração de ATP e que os teores de aminoácidos livres aumentaram em 20% após seis horas de estresse hídrico. Quando o potencial hídrico das folhas atingiu -1,8 MPa, 48 horas após o início do estresse hídrico, foi observado um aumento de 250% nos teores de aminoácidos livres.

A diminuição do teor de proteínas nos tecidos foliares pode ser explicada por uma redução na síntese de proteínas devido a um decréscimo acentuado da energia livre disponível e um aumento dos processos de hidrólise. A quebra das proteínas afeta o metabolismo não só pela sua redução, mas pela liberação de produtos tóxicos resultantes de sua desa-

gregação, em especial, a amônia (SACHS et al., 1975).

O estresse hídrico mesmo moderado é capaz de retardar o aparecimento de clorofila em feijão comum (Phaseolus vulgaris), segundo ALBERT et al. (1975), pela redução na taxa de formação do complexo proteína-clorofila. Efeitos semelhantes foram observados em cevada por BHARDWAJA & SINGHAL (1981) onde o aumento do estresse hídrico induziu uma maior quebra da clorofila. DE PAULA et al. (1989) estudando genótipos contrastantes de algodão com relação a resistência à seca observou também reduções nos teores de clorofila total à medida que o estresse hídrico aumentava.

Anteriormente, FERRARI-ILIOU et al. (1984) haviam observado em plantas de algodão que o teor de clorofila havia sido reduzido pelo estresse hídrico devido as modificações no teor e composição de lipídios das membranas dos cloroplastos.

#### 2.4 - Eficiência de Uso de Água das Culturas

Suprimento inadequado de água durante alguma fase de crescimento de uma cultura limita a sua produtividade, na maioria das terras aráveis do mundo. A adaptação de uma cultura a uma determinada região depende do padrão de distribuição das chuvas, das temperaturas diurnas e noturnas, do fotoperíodo ou da disponibilidade de água para irrigação.

As variações anuais de produção das plantas adaptadas dependem de fatores microclimáticos.

Nas últimas décadas, o objetivo principal dos melhoristas tem sido de criar culturas capazes de produzir as mais altas taxas de produção por unidade de área sob uma grande variabilidade ambiental. A produção obtida está geralmente abaixo da potencial pela ação limitadora de diversos fatores ambientais, em especial, o estresse hídrico. A diferença entre a produção colhida e a potencial para uma determinada quantidade de água disponível indica quanto a produtividade pode ser aumentada maximizando-se a eficiência de uso de água. Segundo BARNES (1983), a eficiência de uso de água de uma cultura pode ser incrementada: a) melhorando as práticas de manejo da água e do solo; b) aperfeiçoando as práticas de manejo da cultura; c) plantando cultivares tolerantes aos estresses ambientais. A melhoria do manejo da água e do solo seria obtida pelo emprego mais efetivo da tecnologia de fertilização, preparação dos leitos para semeadura, conservação da umidade do solo e irrigação suplementar. O melhor manejo da cultura se refere as práticas de semeadura nas épocas adequadas, controle de pragas e doenças, eliminação da competição de ervas daninhas e sincronização da época de colheita da cultura. Cultivares tolerantes ao estresse hídrico seriam aqueles que: a) não sofressem reduções significativas de produção induzidas por ataques de doenças, insetos e nematódios; b) superassem as limitações de água e problemas químicos no solo (salinidade);

c) fossem insensíveis ao fotoperíodo e as flutuações normais de temperatura.

A primeira medida na melhoria da eficiência de uso de água de uma cultura seria identificar os fatores ambientais críticos limitantes para uma determinada região. Em seguida, ao nível da planta, apontar as características fisiológicas e estruturais que estivessem concorrendo para que a potencialidade máxima da cultura não fosse alcançada. Alguns desses fatores limitantes seriam desenvolvimento inadequado do sistema radicular, reduzida área foliar, limitações no sistema de vasculatura e baixa tolerância protoplasmática ao estresse ambiental. Nas regiões semi-áridas, a água e as elevadas temperaturas são fatores ambientais mais críticos.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Caracterização do Local do Experimento

O presente experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Vale do Curu, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, localizada no município de Pentecoste, distante aproximadamente, 110Km de Fortaleza. Geograficamente, está situada entre os paralelos  $3^{\circ}45'$  e  $4^{\circ}00'$  de latitude sul e os meridianos  $39^{\circ}15'$  e  $39^{\circ}30'$  a oeste de Greenwich, a uma altitude de 47m acima do nível do mar.

O clima da região onde está localizada a propriedade, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo aw', caracterizando-se como clima quente úmido, com uma média anual de precipitações em torno de 850mm, distribuídas irregularmente. As condições climáticas ocorridas durante a condução do experimento se caracterizaram por temperaturas médias mensais, mínima de  $21,9^{\circ}\text{C}$  e máxima de  $33,8^{\circ}\text{C}$ , umidade média mensal de 70,3%, demanda evaporativa média 129,3mm/mês pelo evaporímetro de Piche e 208,4mm/mês, pelo Tanque Classe "A" e precipitação pluviométrica total, no período, de 92,6mm.

10

A área experimental da Fazenda é constituída por terrenos típicamente planos, com declividade média de 0% a 2%, podendo o seu relêvo ser classificado geomorficamente como terraços aluvionais. O solo é originado de deposições de sedimentos aluvionais recentes e classificado pela Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo do Ministério de Agricultura, como solo aluvial eutrófico, argila de atividade alta, horizonte A fraco e textura arenosa (COELHO, 1971).

### 3.2 - Condições de Cultivo

A área para plantio sofreu as operações normais de roçagem, aração, gradagem, sulcamento e marcação das covas.

Foram utilizadas quatro cultivares de caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp): BR-1, Epace-1, Mimoso e Pitiúba, com sementes fornecidas pelo Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará e provenientes da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará (EPACE).

A semeadura foi realizada com espaçamento de 0,9m entre linhas e 0,4m entre plantas, duas sementes por cova, sendo o desbaste realizado 20 dias após a semeadura.

O experimento constou de 4 parcelas de 6,0m x 13,5m e 20 subparcelas de 6,0m x 2,7m, com duas repetições, ocupando uma área útil de 0,648ha e uma densidade de plantio

de 55.554 plantas/ha. Cada parcela continha 3 filas de plantas. A distância entre a última subparcela e a linha de aspersão foi estabelecida em função do diâmetro molhado dos aspersores.

Uma bordadura contornou toda a área útil, sendo ainda implantada uma barreira de ventos, nas duas extremidades do experimento, com a finalidade de manter uma precipitação uniforme dos aspersores ao longo da linha central. As irrigações foram efetuadas durante a madrugada quando a velocidade dos ventos estava abaixo de 1m/s. Foi procedida, antes da semeadura uma adubação química NPK de acordo com as análises de solo, na fórmula de 80-80-20Kg/ha.

Os níveis de umidade do solo foram uma decorrência do sistema de irrigação utilizado, o "Line Source Sprinkler Irrigation", de acordo com a metodologia desenvolvida por HANKS et al. (1976). O referido sistema consiste de uma linha central de 8 aspersores, espaçados de 6,0m em que a variável umidade é produzida pela diferença de distribuição de água a partir do eixo da linha de aspersores e no sentido perpendicular à mesma (FIGURA 1). Após testes preliminares para o conhecimento da distribuição da precipitação foi escolhido o aspersor modelo ZE-30, com bocal de 4,5mm, operando com 3,5atm. Foi efetuada uma irrigação pré-plantio para facilitar a emergência das plântulas e irrigações de base, leves e frequentes, em toda a área experimental até aos 20 dias após a germinação (DAG) para estabelecimento,

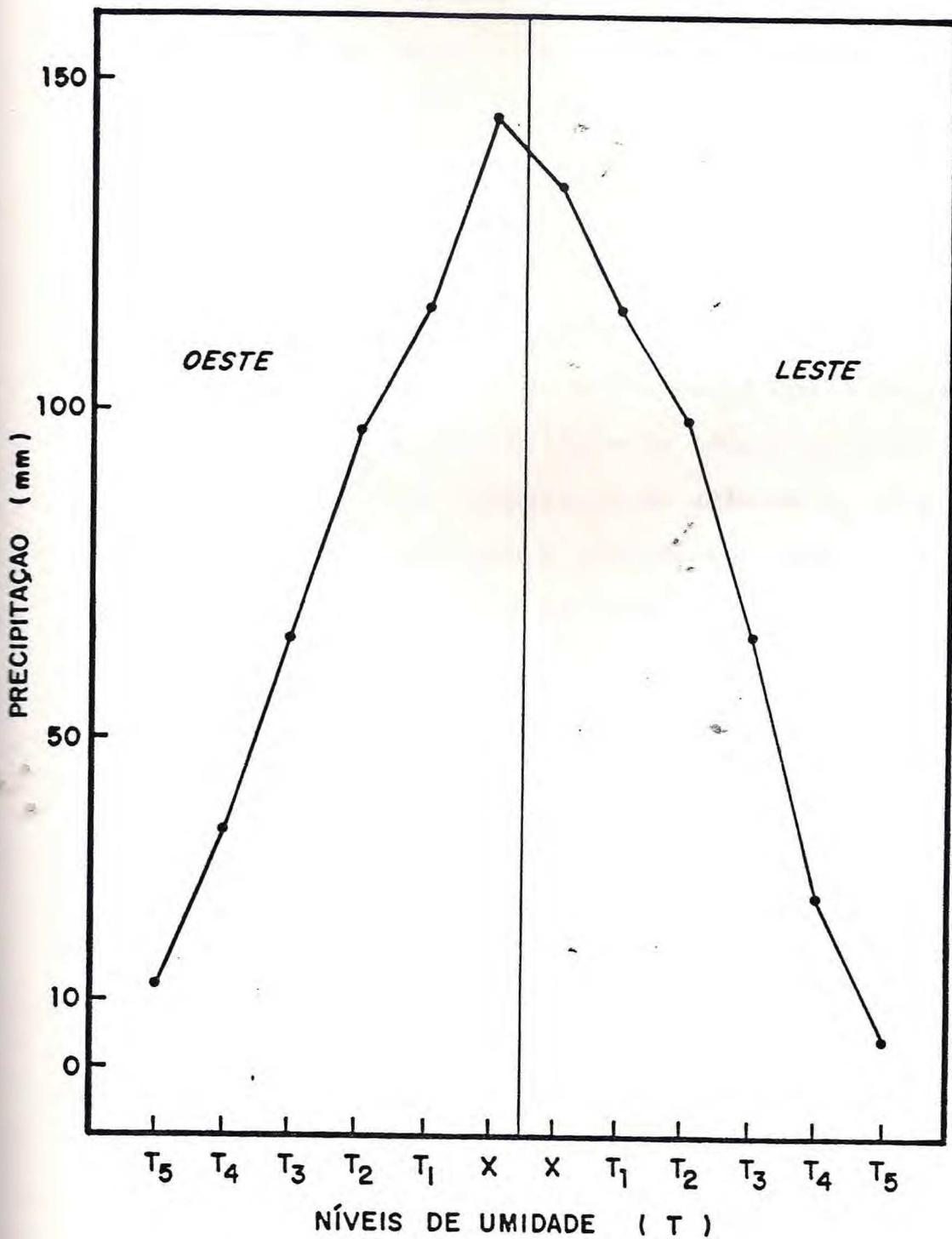


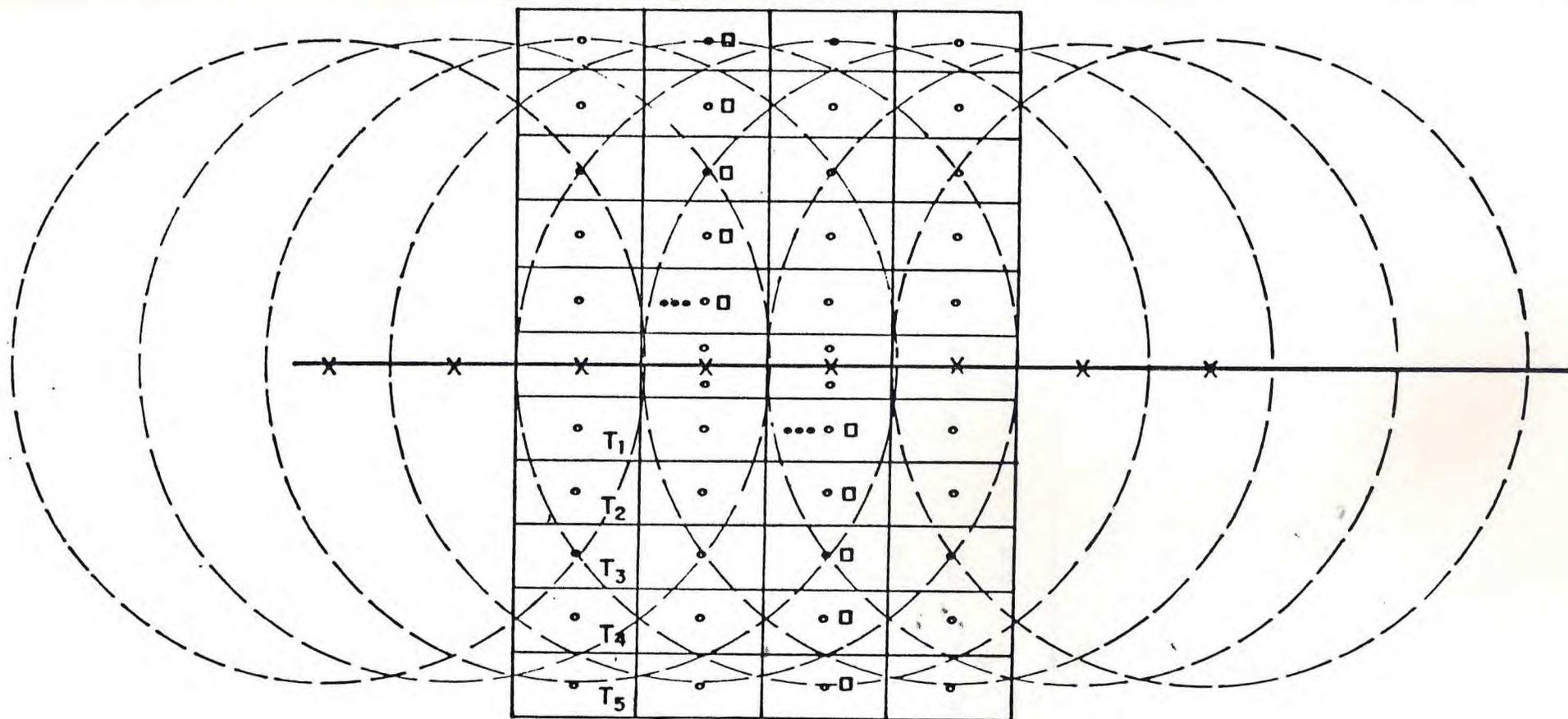
FIGURA 1 - Variações da distribuição das lâminas de água diferenciadas nos diversos tratamentos de disponibilidade hídrica. X = pluviômetro localizado a 0,5m da linha central dos aspersores.

e uniformização da cultura nos estádios iniciais. Após este período, quando as plantas atingiram uma altura de 15 a 20 cm, aproximadamente, as irrigações passaram a ser aplicadas de forma diferenciada pelo sistema previsto e tendo como referencial de umidade, o tratamento controle ou tratamento  $T_1$ .

As irrigações subsequentes eram sempre reiniciadas quando o potencial mátrico do solo, medido pelo tensiômetro atingia a  $-0,4\text{atm}$ , a profundidade de 10cm e em ponto localizado no terço médio da subparcela de umidade  $T_1$  (FIGURA 2).

Foram aplicados cinco tratamentos (TABELA 1), os quais se referem a 5 níveis de umidade do solo, correspondentes às seguintes faixas:  $T_1$  ou controle (115,4mm);  $T_2$  (97,3mm);  $T_3$  (66,1mm);  $T_4$  (32,2mm);  $T_5$  (9,1mm). As irrigações diferenciadas pelo "Line Source Sprinkler Irrigation" foram efetuadas aos 27, 34, 39 e 52 DAG.

As medições diárias das tensões do solo foram procedidas em duas baterias de tensiômetros instalados às profundidades de 10, 30, 60 e 90cm, no terço médio das subparcelas controle. Os tensiômetros instalados à 10cm de profundidade serviam para indicar o momento da irrigação e juntamente com as leituras de 30cm, para o cálculo da lâmina de irrigação. Para auxílio do controle de umidade e estudo de percolação profunda, foram instalados tubos de acesso para se efetuar leituras com a sonda de nêutrons às mesmas profundidades dos tensiômetros, ou seja, subparcelas correspondentes a todos os tratamentos (FIGURA 2).



- (°) Pluviômetro
- (◻) Sonda Nêutrons
- (X) Aspersor
- (---) Bateria de tensiômetros

FIGURA 2 - Esquema do "Line Source Sprinkler Irrigation System" usado no experimento.

TABELA 1 - Lâminas de água aplicadas e precipitações pluviométricas ocorridas durante o período experimental

TRATAMENTOS	LÂMINAS	LÂMINAS	PRECIPITAÇÕES	LÂMINAS	VARIAÇÕES
	INICIAIS (mm)	DIFERENCIADAS (mm)	PLUVIOMÉTRICAS (mm)	TOTAIS (mm)	PERCENTUAIS (%)
T 1	197.6	115.4	12.6	325.6	100.0
T 2	197.6	97.3	12.6	307.5	94.4
T 3	197.6	66.1	12.6	276.3	84.9
T 4	197.6	32.2	12.6	242.4	74.4
T 5	197.6	9.1	12.6	219.3	67.3

Para o cálculo do potencial mátrico, no tratamento controle, empregou-se a expressão:

$$\psi_m = -12,6h_{Hg} + h_c + h_t$$

onde:

$\psi_m$  = potencial mátrico do solo (cm H<sub>2</sub>O);

$h_{Hg}$  = leitura da coluna de mercúrio (cm);

$h_c$  = altura da cuba de mercúrio com relação a superfície do solo (cm);

$h_t$  = profundidade da cápsula com relação à superfície do solo (cm).

Com os valores dos potenciais mátricos nas profundidades de 10 e 30cm e de posse das curvas características representativas dessas profundidades, determinava-se os valores da umidade do solo no tratamento controle. A lâmina de água aplicada era função da capacidade de campo na profundidade de 20cm da umidade crítica no tratamento controle e da profundidade de molhamento (40cm). Considerou-se para efeito de cálculo da lâmina bruta uma eficiência de irrigação de 80%, uma vez que a água aplicada mantinha-se nos sulcos retida por pequenos diques, não havendo perda por escoamento superficial. As perdas estimadas em 20% supunha-se por evaporação e drenagem profunda.

A lâmina de irrigação no "ponto controle" foi estabelecida por meio da equação:

$$L \ell = \frac{C_c - U_c}{10} D_a \times P$$

onde:

$L \ell$  = lâmina líquida a ser aplicada (mm);

$C_c$  = capacidade de campo (% peso seco);

$U_c$  = umidade crítica (% peso seco);

$D_a$  = densidade aparente ( $g/cm^3$ );

$P$  = profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

Para controle e verificação da vazão dos aspersores e lâminas d'água aplicadas durante as irrigações, foram instalados 40 pluviômetros em todas as subparcelas, à uma altura de 1,0m da superfície do solo.

Entre os tratamentos culturais realizados, as capinas e o controle às pragas foram adotadas em épocas oportunas. As capinas, de acordo com a ocorrência de ervas daninhas, sendo a área mantida limpa durante o ciclo da cultura. O controle às pragas foi realizado através de aplicações de inseticidas, como Carvin (carbamato) 85PM na proporção de 40g do produto para 20 litros de água; Nuvacron (monocrotophos) 400E na proporção de 15cm<sup>3</sup> para 20 litros de água, ambos utilizados no combate as lagartas e pulgões e preventivo contra o manhoso (Chalcodermus bimaculatus). As capinas foram efetuadas manualmente com enxada e as aplicações dos inseticidas com pulverizador costal.

### 3.3 - Determinação Físico-Hídricas do Solo

#### 3.3.1 - Capacidade de Campo (Método Direto no Campo)

Foram procedidas determinações da capacidade de campo às profundidades de 10 a 15cm, 20 a 25cm e de 30 a 35cm, sendo utilizada a metodologia de THOMAS & HARRIS (1926), descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1969) no Manual de Métodos de Análises de Solos do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS-EMBRAPA).

As amostras foram coletadas com trado de rosca grossa a intervalos de 24, 48, 96, 120 e 144 horas. Para cada camada coletou-se três amostras de solo, considerou-se o valor da umidade de cada camada, a média de umidade das amostras e como valor da capacidade de campo, aquela que apresentou a mesma umidade entre dois intervalos de amostragem.

#### 3.3.2 - Massa Específica do Solo

A massa específica do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, descrito por UHLAND (1949) nas camadas de 5 a 10cm, 20 a 25cm e de 30 a 35cm.

$$D_a = \frac{M_{ss}}{V_c}$$

onde:

$D_a$  = densidade aparente ( $g/cm^3$ );

$M_{ss}$  = massa do solo seco a  $105^{\circ}C$  (g);

$V_c$  = volume do cilindro ( $cm^3$ ).

### 3.3.3 - Curva Característica da Umidade do Solo

Com as amostras deformadas e indeformadas coletadas na área experimental foi obtida a curva característica de umidade do solo da camada de 0 a 30cm (FIGURA 3).

Na obtenção da curva característica para tensões menores e igual a 0,8atm utilizou-se amostras inalteradas com tensiômetro e para tensões superiores a 0,8atm, empregou-se a panela de pressão com amostras deformadas para tensões de 5 a 15atm.

### 3.4 - Determinação do Potencial Hídrico

O potencial hídrico foi determinado utilizando-se a terceira folha, a partir do ápice da planta, através de uma câmara de pressão (PMS-Instrument Company, Corvallis-Oregon, EE. UU) idealizada por DIXON (1914) e realizado por

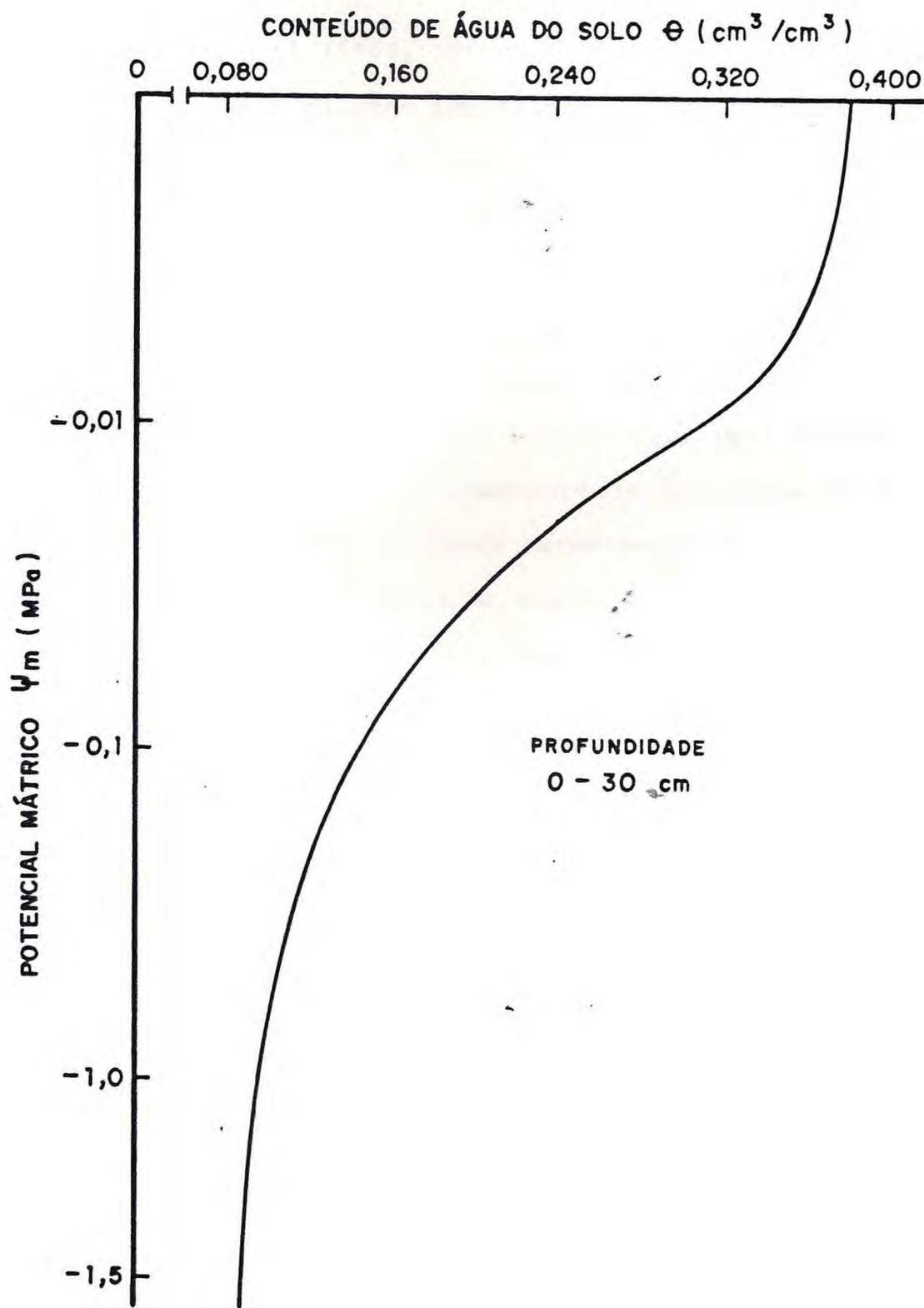


FIGURA 3 - Curva característica de umidade do solo aluvial eutrófico da área experimental na camada de 0 a 30cm.

SCHOLANDER et al. (1964, 1965). Cada valor expresso representa a média de 4 plantas por tratamento e por cultivar. As coletas foram procedidas sempre entre 8:00 e 9:00 horas para uma maior uniformidade das leituras. Os valores de potencial hídrico foram determinados aos 33, 40, 47 e 54 DAG.

Para a sua determinação destacava-se a folha da planta, introduzindo-a em seguida na câmara de pressão, de modo que uma parte do pecíolo permanecesse fora da mesma, para observar, com o auxílio de uma lupa, o aparecimento no xilema da primeira gota de líquido. Com a câmara herméticamente fechada, a pressão era aumentada através da abertura de uma válvula ligada a um tubo de nitrogênio. Com o aparecimento da primeira gota que fluía do xilema, a válvula era fechada, procedendo-se então, a leitura do manômetro que fornecia o valor do potencial hídrico.

### 3.5 - Determinação do Teor de Clorofila Total

Coletou-se uma amostra de 0,25g de peso fresco da segunda folha a partir do ápice da planta, aos 40 e 54 DAG. Através de um almofariz, com aproximadamente 0,3g de  $\text{CaCO}_3$ , uma porção de areia lavada e 1,8ml de acetona pura, triturou-se a referida amostra, filtrou-se então o produto da trituração por meio de um funil de Büchner, lavando-se durante a filtração com 5,0ml de acetona 80%. Em seguida, o almofariz e o pistilo foram lavados com mais 2,0ml de acetona

80%, ajustando-se o volume para 10,0ml. Uma amostra da solução resultante da filtração foi retirada sendo então diluída em 4,9ml de acetona 80% procedendo-se a determinação da densidade ótica nas faixas de 645 e 663nm através de espectrofotômetro (MICRONAL, São Paulo, Brasil). Como amostra em branco, utilizou-se a acetona 80%. A concentração de clorofila foi determinada pela fórmula de MCKINNEY (1941) e expressa em peso seco:

$$C(\text{mg}/\ell\text{PF}) = 20,2 (\text{D.O.})_{645} + 8,02 (\text{D.O.})_{663}$$

onde:

$C(\text{mg}/\ell\text{PF})$  = Concentração de clorofila em  $\text{mg}/\ell$ , peso fresco;

$(\text{D.O.})_{645}$  = densidade ótica na faixa de 645 nanômetro;

$(\text{D.O.})_{663}$  = densidade ótica na faixa de 663 nanômetro;

$$C(\text{mg}/\text{gPF}) = \frac{\text{Clorofila total (mg}/\ell) \times 0,51}{\text{Peso Fresco da Amostra}}$$

em peso seco, teríamos:

$$C(\text{mg}/\text{gPF}) \times \frac{\text{PFA}}{\text{PSA}} = C(\text{mg}/\text{gPS})$$

onde:

$C(\text{mg}/\text{gPF})$  = clorofila total em  $\text{mg}/\text{g}$ , expressa em peso fresco;

$\frac{\text{PFA}}{\text{PSA}}$  = relação entre o peso fresco e o peso seco da amostra;

$C(\text{mg}/\text{gPS})$  = clorofila total em  $\text{mg}/\text{g}$ , expressa em peso seco.

### 3.6 - Determinação do Teor de Proteína

Para a determinação do teor de proteína foi utilizado o método de LOWRY et al. (1951), empregando-se os seguin-

tes reagentes: Solução A - 2% de  $\text{NaCO}_3$  em NaOH 0,1N; solução B - 0,5g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  em citrato de sódio 0,1% em 100 ml de água (no trabalho original foi utilizado tartarato de sódio no lugar do citrato de sódio, justificando-se a substituição pelo fato de se obter uma solução mais estável quando se utiliza o citrato de sódio); solução C - obtida pela mistura de 1ml da solução B em 50ml da solução A; solução D - Reativo de Folin-Ciocalteu diluída em água destilada para se obter uma concentração de 0,1N. As amostras para determinação de proteína foram coletadas aos 40 e 54 DAG.

Para cada determinação utilizou-se uma amostra de 0,25g retirada da terceira folha à partir do ápice e triturada em almofariz juntamente com 10ml de Tampão TRIS-HCL e uma pequena porção de areia.

O material obtido foi centrifugado durante cinco minutos à 200xG adicionando-se ao sobrenadante 3,3ml de TCA 20% para que as proteínas fossem precipitadas. Nova centrifugação foi feita por 10 minutos à 460xG, descartando-se o sobrenadante. O precipitado foi então lavado com 2ml de TCA a 1%, agitando-se por alguns segundos. Procedeu-se então a nova centrifugação por 10 minutos à 460xG, juntando-se ao precipitado 5ml de NaOH 1N para dissolver as proteínas precipitadas pelo TCA, obtendo-se então o extrato pronto para dosagem. Esta foi procedida retirando-se 0,2ml da solução obtida pelo processo anterior e adicionando-se 4,0ml da solução C e, após 10 minutos acrescentando-se a solução D. Transcorridos 30 minutos, a densidade ótica foi determinada em

500, 650 e 750nm. Para os cálculos foram utilizadas as seguintes equações, baseadas na curva padrão de BSA, para cada densidade ótica:

$$Y_{500} = 168,32719x - 2,4897199$$

$$Y_{650} = 62,596577x - 0,5847702$$

$$Y_{750} = 59,190868x - 1,3502625$$

onde x representa a leitura da densidade ótica nas respectivas faixas do espectrofotômetro da solução

$$\bar{Y} \times 0,02 = \text{teor de proteínas em mg/gPF}$$

onde  $\bar{Y}$  = média das três equações e 0,02 o fator de correção da diluição.

Os valores obtidos para os teores de proteínas também foram expressos em peso seco, através da equação:

$$\text{Teor de proteínas (mg/gPF)} \times \frac{\text{PFA}}{\text{PSA}} = \text{teor de proteína (mg/gPS)}$$

### 3.7 - Determinação do Teor de Lipídios Totais

Para a extração dos lipídios totais utilizou-se o método descrito por ALLEN & GOOD (1971).

Aos 40 e 54 DAG foi retirada uma amostra de 7,5g da terceira folha a partir do ápice da planta, excluindo-se as nervuras. As folhas foram cortadas em pedaços e fixadas em 20,0ml de água destilada fervente durante dois minutos. Após esse tratamento, os tecidos foram transferidos para um almo

fariz e congelados em nitrogênio líquido para facilitar o processo de trituração, o qual foi efetuado com o auxílio de 20,0ml de metanol/clorofórmio (2:1 v/v). Logo em seguida, através de um funil de placa porosa, procedeu-se a filtração do material obtido, lavando-se o resíduo com 30,0ml de clorofórmio puro. Utilizando-se a água empregada para a fixação das folhas, procedeu-se uma lavagem, tendo sido acrescentado antes àquela, 10,0ml de KCl 0,1M o que possibilitou uma melhor separação entre o solvente e a parte aquosa.

Centrifugou-se o filtrado à 200xG a fim de facilitar a separação da fase inferior (lipídica). Efetuou-se mais duas lavagens da fase superior com 5,0ml de clorofórmio em cada lavagem, coletando-se a fase inferior. O solvente presente na fase inferior foi evaporado com ventilação forçada por intermédio de um fluxo de nitrogênio. Posteriormente, a fase lipídica foi colocada em um dessecador, contendo sílica e KOH, durante doze horas. O teor de lipídios totais foi obtido por pesagem ajustada para ser expresso em peso seco.

### 3.8 - Determinação da Produtividade Biológica e Componentes de Produção

A produtividade biológica foi medida através de determinações da área foliar e do peso da parte aérea. Os pesos secos da parte aérea foram determinados após secagem em

estufa a 80°C por 48 horas. As amostras foram determinadas aos 40 e 54 DAG.

Na época da colheita foi escolhida, ao acaso, uma linha de plantas para cada tratamento e cultivar. Nestas plantas foram determinados os componentes de produção, tais como: número médio de vagens por planta, número de grãos por vagem, tamanho médio da vagem, peso seco de 100 grãos, peso seco do pericarpo e produção de grãos.

### 3.9 - Delineamento Estatístico

O experimento obedeceu ao delineamento em fatorial split (GOMEZ & GOMEZ, 1984). Os tratamentos constaram da combinação de cinco níveis de umidade do solo, aplicadas as quatro cultivares. Para comparação das médias determinadas, utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5%.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Potencial Hídrico Foliar

Os valores de potencial hídrico foliar foram determinados aos 33, 40, 47 e 54 DAG (TABELAS 2 a 5). As medições foram feitas nas primeiras horas da manhã, por serem os seus valores mais representativos do equilíbrio da planta e a disponibilidade de água no solo. As determinações procedidas durante a tarde apresentaram sempre valores mais baixos do que os medidos pela manhã, mas variavam muito dia a dia, em função da demanda evaporativa, influenciada principalmente pela nebulosidade, sendo desprezados.

Aos 33 DAG, os tratamentos diferenciados de irrigação não induziram diferenças significativas nas cultivares estudadas (TABELA 2), com exceção da Epace-1 que no controle ( $T_1$ ) apresentou significativamente o maior valor de potencial hídrico (-0,9 MPa). Na comparação entre cultivares e todos os tratamentos, somente este valor de potencial hídrico determinado na Epace-1 diferiu dos obtidos nas demais cultivares. No entanto, considerando-se todas as cultivares e tratamentos, não houve diferenças significativas. Esta uniformidade nos níveis de hidratação dos tecidos pode ser explicada pelo fato da primeira irrigação diferenciada pelo "Line Source" ter sido aplicada aos 27 DAG e as medi-

TABELA 2 - Valores do potencial hídrico das folhas de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (33 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÚBA	MIMOSO	EPACE - 1	MÉDIA
T 1	- 1.2 Ab	- 1.1 Ab	- 1.2 Ab	- 0.9 Aa	- 1.1
T 2	- 1.2 Aa	- 1.2 Aa	- 1.3 Aa	- 1.2 Ba	- 1.2
T 3	- 1.1 Aa	- 1.2 Aa	- 1.1 Aa	- 1.2 Ba	- 1.2
T 4	- 1.1 Aa	- 1.1 Aa	- 1.2 Aa	- 1.2 Ba	- 1.1
T 5	- 1.2 Aa	- 1.2 Aa	- 1.2 Aa	- 1.3 Ba	- 1.3
MÉDIA	- 1.2	- 1.2	- 1.2	- 1.2	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada coluna, ou pela mesma letra minúscula, em cada linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

ções do potencial hídrico feitas aos 33 DAG.

Os tratamentos diferenciados de irrigação aos 40 DAG (fim da fase vegetativa) não induziram diferenças significativas no potencial hídrico, considerando-se todas as cultivares estudadas (TABELA 3). No entanto, comparando-se as cultivares observamos que, considerando-se todos os tratamentos, a Epace-1 apresentou significativamente os menores valores de potencial hídrico.

Os dados de potencial hídrico obtidos aos 47 DAG (início da floração) variaram significativamente para todas as cultivares em resposta aos tratamentos de irrigação (TABELA 4). Em todas as cultivares, os valores de potencial hídrico de  $T_5$  diferiram significativamente dos observados no controle ( $T_1$ ). Comparando-se entre cultivares para todos os tratamentos, Mimoso e Epace-1 diferiram significativamente de BR-1 e Pitiúba, que apresentaram valores mais altos de potencial hídrico.

Essa redução significativa dos valores de potencial hídrico, em resposta aos tratamentos no início da fase reprodutiva, pode ser explicada por uma diminuição relativa do crescimento radicular e maior investimento nas estruturas reprodutivas. Essa partição diferenciada de fotoassimilados, em resposta aos valores crescentes de deficiência hídrica no solo, pode ter induzido um desequilíbrio na relação raiz/parte área com um maior comprometimento dos processos de absorção de água. Também deve ser considerado o esquema de irrigação, com os valores de potencial hídrico tendo sido

TABELA 3 - Valores do potencial hídrico das folhas de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (40 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR -1	PITIÚBA	MIMOSO	EPACE - 1	MÉDIA
T 1	- 1.1	- 1.2	- 1.0	- 1.2	- 1.1
T 2	- 1.1	- 1.1	- 1.0	- 1.2	- 1.1
T 3	- 1.0	- 1.0	- 1.1	- 1.3	- 1.1
T 4	- 1.0	- 1.1	- 1.0	- 1.3	- 1.1
T 5	- 1.2	- 1.0	- 1.1	- 1.4	- 1.2
MÉDIA	- 1.1 a	- 1.1 a	- 1.1 a	- 1.3 b	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada coluna, ou pela mesma letra minúscula, em cada linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 4 - Valores do potencial hídrico das folhas de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (47 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÓBA	MIMOSO	EPAE - 1	MÉDIA
T 1	- 0.8 Aa	- 0.7 Aa	- 0.7 Aa	- 0.9 Aa	- 0.8 A
T 2	- 0.9 ABa	- 0.8 ABa	- 0.9 ABa	- 0.9 Aa	- 0.9 B
T 3	- 0.9 ABab	- 0.8 ABa	- 1.0 Ba	- 1.1 ABb	- 1.0 C
T 4	- 1.0 ABa	- 1.0 BCa	- 1.1 BCa	- 1.2 Ba	- 1.1 D
T 5	- 1.1 Ba	- 1.2 Ca	- 1.3 Ca	- 1.2 Ba	- 1.2 E
MÉDIA	- 0.9 a	- 0.9 a	- 1.0 b	- 1.0 b	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada coluna, ou pela mesma letra minúscula, em cada linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

medidos 6 dias após a irrigação anterior (39 DAG).

Os valores de potencial hídrico foliar determinados no início da formação das vagens e enchimento dos grãos (54 DAG) estão na TABELA 5. Analisando-se isoladamente cada cultivar, os tratamentos não foram capazes de induzir diferenças significativas. Essas somente se verificaram quando foram consideradas conjuntamente todas as cultivares, com os valores de  $T_5$  (-1,1 MPa) diferindo significativamente dos observados em  $T_1$  e  $T_2$  (-0,9 MPa). Analisando-se todos os tratamentos, a cultivar Epace-1 apresentou significativamente os menores valores de potencial hídrico em relação as demais (-1,1 MPa) com a cultivar Pitiúba atingindo os valores mais altos (-0,9 MPa).

Os valores de potencial hídrico foliar, medidos ao longo das diversas fases do ciclo vital do caupi, indicaram que mesmo os tratamentos mais estressados não foram capazes de induzir grandes reduções do status energético da água na planta. Essa capacidade de manutenção de elevado potencial hídrico, mesmo sob intensa demanda evaporativa e baixa disponibilidade hídrica no solo, é uma expressão de eficientes controles de tolerância à seca do caupi através de mecanismos de esquiva de perda de água ("drought avoidance"). Essa capacidade se expressou, principalmente, pela menor captação de energia (diminuição da área foliar) e consequente redução da transpiração. No entanto, não se fez sem perda da capacidade fotossintética com diminuição das fontes de carboidratos que eventualmente se tornaram o fator limitante

TABELA 5 - Valores do potencial hídrico das folhas de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÚBA	MIMOSO	EPACE - 1	MÉDIA
T 1	- 0.9 Aa	- 0.9 Aa	- 0.9 Aa	- 1.0 Aa	- 0.9 A
T 2	- 0.9 Aa	- 0.9 Aa	- 0.9 Aa	- 1.0 Aa	- 0.9 A
T 3	- 1.0 Aab	- 0.9 Aa	- 0.9 Aa	- 1.1 Ab	- 1.0 AB
T 4	- 0.9 Aa	- 1.0 Aab	- 0.9 Aa	- 1.1 Ab	- 1.0 AB
T 5	- 1.0 Aa	- 1.0 Aa	- 1.0 Aa	- 1.1 Aa	- 1.1 B
MÉDIA	- 1.0 b	- 0.9 a	- 1.0 b	- 1.1 c	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada coluna, ou pela mesma letra minúscula, em cada linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

da produção de grãos.

Resultados semelhantes foram obtidos por TURK & HALL (1980a) quando observaram que cultivares de caupi apresentaram extrema esquivia à seca na presença de déficit de água no solo e alta demanda evaporativa com o potencial hídrico permanecendo acima de  $-1,8$  MPa. A tolerância à seca em caupi parece depender essencialmente de diversos mecanismos de controle de perda d'água pelas plantas.

PHOGAT et al. (1984a) fazendo um estudo comparativo entre caupi e feijão mungo (Vigna radiata) também observaram que o caupi mesmo quando submetido a severo déficit de água no solo manteve os valores de potencial hídrico acima de  $-1,5$  MPa. A carência de água no solo induziu menor frequência de estômatos em ambas as espécies, o que pode ser considerado com uma adaptação ao ambiente árido. Segundo os mesmos autores, feijão mungo tem os estômatos mais sensíveis ao estresse hídrico foliar, concorrendo para evitar lesões ao nível celular durante curtos períodos de estresse. A insensibilidade relativa dos estômatos do caupi permite a manutenção da atividade fotossintética durante a ocorrência de seca de maior duração. No entanto, o limitado sistema radicular não permite um suprimento adequado de água para atender a transpiração, resultando em diminuição nas taxas de crescimento e eficiência de uso de água. Essas observações estão de acordo com as nossas determinações e explicam, em especial, as diminuições nos teores de proteínas, clorofila total e lipídios.

Carência de água no solo tem induzido baixos valores de potencial hídrico em caupi somente em experimentos conduzidos em condições de casa-de-vegetação. HILER et al. (1972) determinou valores de potencial hídrico foliar de -2,8 MPa. O reduzido volume de solo nos jarros e a rápida depleção de água não permitiram que a cultura expressasse seus mecanismos de esquia à seca (SUMMERFIELD et al., 1974 & MELO, 1989).

As medições do status energético de água nas folhas, embora importantes, expressam somente uma medida dos efeitos da seca sobre a cultura. Há necessidade de mensurar os efeitos deletérios da esquia à seca ("drought avoidance") pela quantificação das modificações ao nível celular, conforme discussão seguinte.

#### 4.2 - Teor de Proteína Total nos Extratos Foliares

Os teores de proteínas totais (mg/gPS) nas quatro cultivares de caupi foram determinados aos 40 e 54 DAG (TABELAS 6 e 7, FIGURAS 4 e 5). Na primeira determinação feita ao final da fase vegetativa (40 DAG) houve um decréscimo gradativo no teor de proteínas à medida que diminuía a disponibilidade hídrica do solo, nas cultivares BR-1, Pitiúba e Mimoso. Na cultivar Epace-1, aos 40 DAG, não houve variações significativas entre os diversos tratamentos. Em termos percentuais, na cultivar BR-1, o teor de proteína em T<sub>5</sub>

TABELA 6 - Valores do teor de proteínas totais (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (40 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				MÉDIA	%
	BR - 1	PITIÓBA	MIMOSO	EPACE - 1		
T 1	5.5	5.5	4.6	5.6	5.3	100.0
T 2	5.0	4.9	4.1	6.0	5.0	94.3
T 3	4.9	4.6	4.2	6.1	4.9	92.4
T 4	4.6	4.2	3.3	5.4	4.4	83.0
T 5	4.3	3.3	3.4	5.8	4.2	79.2
MÉDIA	4.8	4.5	3.9	5.8		

TABELA 7 - Valores do teor de proteínas totais (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s					MÉDIA	%
	BR - 1	PITIÚBA	MIMOSO	EPACE - 1			
T 1	4.3	2.8	2.6	2.9	3.1	100.0	
T 2	3.7	2.2	2.3	2.8	2.8	90.3	
T 3	3.5	2.1	1.9	2.4	2.5	80.6	
T 4	3.2	1.7	1.8	1.9	2.1	67.7	
T 5	3.2	1.8	1.6	1.8	2.1	67.7	
MÉDIA	3.6	2.1	2.0	2.4			

PROTEINAS TOTAIS (mg/gPS)

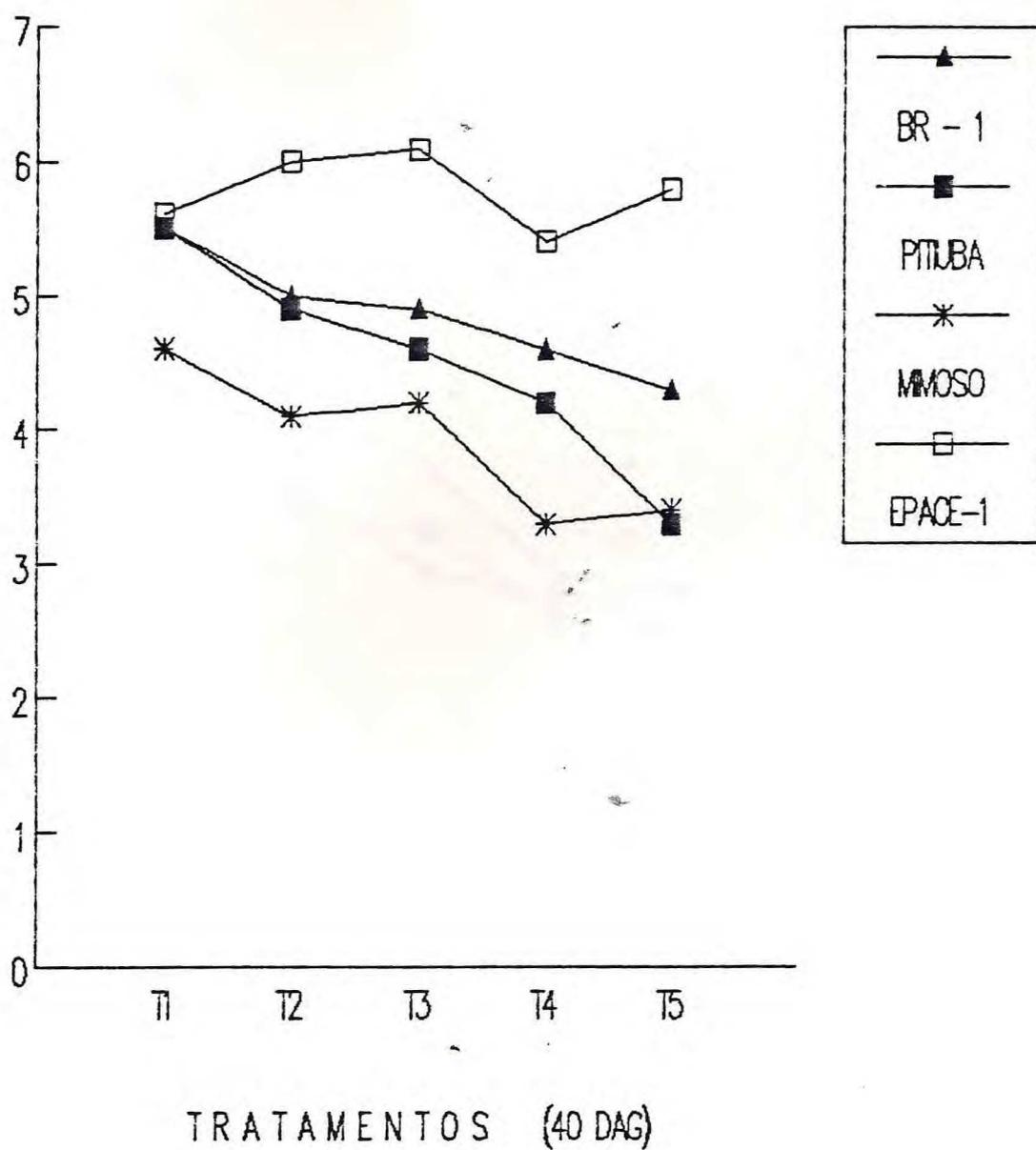
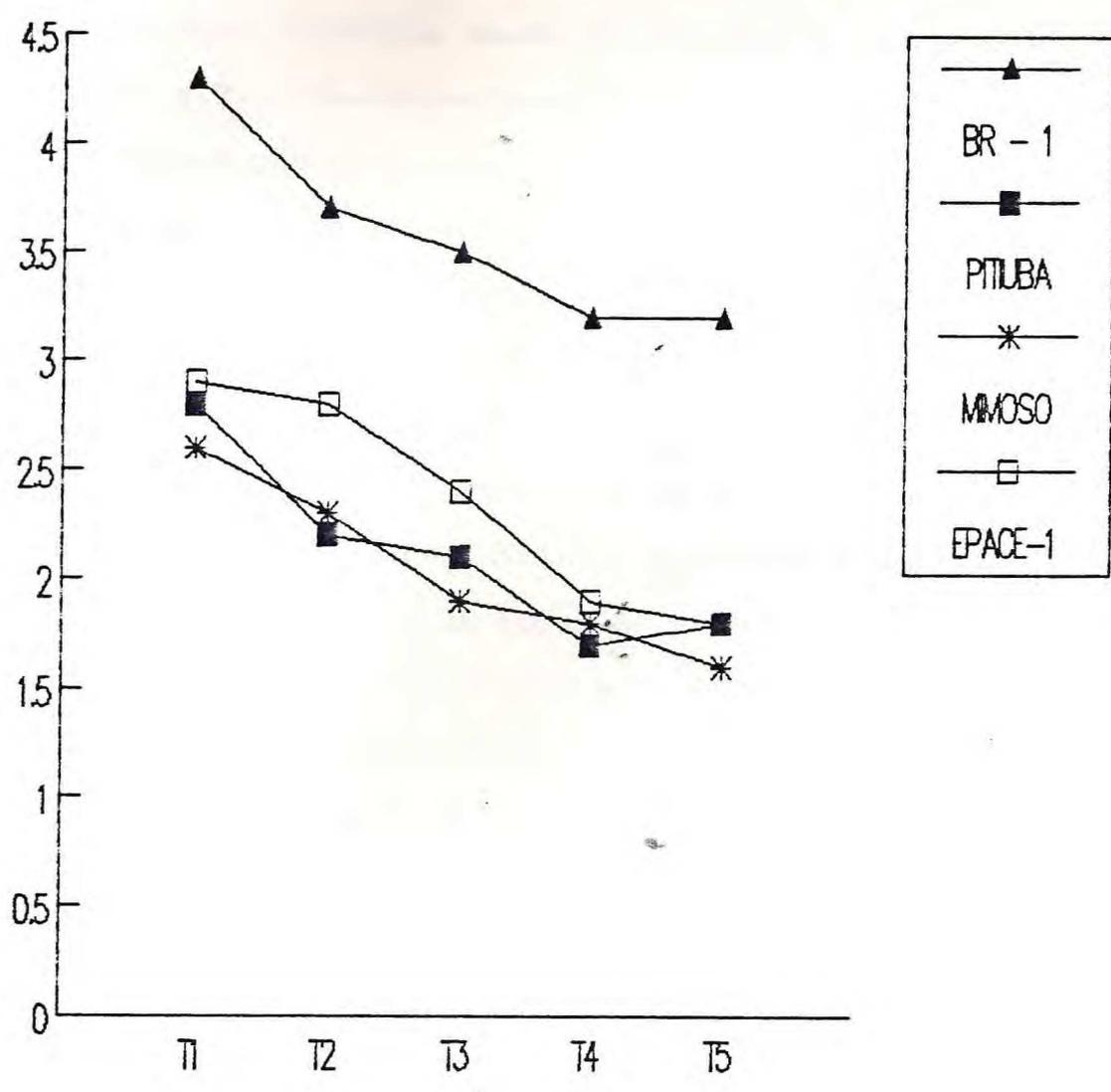


FIGURA 4 - Variações do teor de proteínas totais nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 40 DAG.

PROTEINAS TOTAIS (mg/gPS)



TRATAMENTOS (54 DAG)

FIGURA 5 - Variações do teor de proteínas totais nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 54 DAG.

correspondia a 78% do observado em T<sub>1</sub>. Em Pitiúba esta redução foi ainda mais acentuada sendo de 60% quando se compara T<sub>5</sub> em relação a T<sub>1</sub>. Considerando-se todas as cultivares, observou-se uma redução gradativa do teor de proteína aos 40 DAG à medida que diminuía a disponibilidade hídrica do solo.

As determinações dos teores de proteínas feitas durante a fase de reprodução (54 DAG) indicaram menores valores em todas as cultivares e tratamentos em relação aos obtidos na fase vegetativa. A mesma tendência de redução no teor de proteína a medida que diminuía a disponibilidade hídrica no solo foi observada em todas as cultivares. Esta redução mais acentuada no teor de proteína pode ser explicada por um maior tempo de aplicação de irrigação diferenciada do "Line Source Sprinkler". Na fase de reprodução, deve também ser considerado o surgimento de novos drenos constituídos pelas flores e em especial pela formação de vagens (enchimento de grãos). Houve uma remobilização das reservas nitrogenadas para a formação das estruturas reprodutivas com a consequente diminuição dos teores de proteínas nas folhas. A senescência natural da folha marcada para coleta de amostra (3ª a partir do ápice) é um outro fator que pode ter concorrido para reduzir o teor de proteínas. As mesmas tendências de redução nos teores de clorofila total e de lipídios com os menores valores sendo observados aos 54 DAG em relação aos determinados aos 40 DAG, reforçam estas hipóteses. DE PAULA et al. (1989) estudando cultivares de algodão sob condições de estresse hídrico obteve resultados semelhantes

aos observados nesse estudo, com relação as variações de proteínas, clorofila total e lipídios.

SHAH & LOOMIS (1965) mostraram que a síntese de proteínas é um dos processos metabólicos mais sensíveis ao estresse hídrico nos tecidos. Nas cultivares de caupi estudadas no presente trabalho, a diminuição dos teores de proteínas quando submetidas aos tratamentos mais estressados pode ser explicada por um aumento dos processos de hidrólise e uma redução da síntese protéica. O teor de proteína também pode ter sido reduzido pelo decréscimo de energia livre disponível, resultante da diminuição da atividade fotossintética. A manutenção de elevados valores de potencial hídrico celular e a diminuição acentuada da área foliar indicam que ocorreu redução de perda de água pelo fechamento dos estômatos. Como consequência, a taxa de assimilação de  $CO_2$  e produção de fotoassimilados foram reduzidas.

#### 4.3 - Teores de Clorofila Total nos Extratos Foliares

Os teores de clorofila total determinados ao final da fase vegetativa (40 DAG) não foram significativamente afetados pela diminuição da disponibilidade hídrica do solo (TABELA 8). Observou-se uma diferença relativa nos teores de clorofila entre as cultivares, com BR-1 apresentando maiores concentrações, sendo seguida pela cultivar Mimoso. Com ex-

TABELA B - Valores do teor de clorofila total (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (40 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s					MÉDIA	%
	BR - 1	PITIÚBA	MIMOSO	EPACE - 1			
T 1	21.4	13.3	15.8	9.8	15.1	100.0	
T 2	18.8	10.8	15.9	9.1	13.6	90.0	
T 3	19.5	11.5	15.8	9.0	13.9	92.0	
T 4	16.9	10.2	14.0	10.8	13.0	86.0	
T 5	17.8	12.2	14.6	9.0	13.4	88.7	
MÉDIA	18.9	11.6	15.2	9.5			

ceção do T<sub>4</sub>, a cultivar Pitiúba foi superior em termos de teor de clorofila a Epace-1, que relativamente apresentou os valores mais baixos (FIGURA 6).

A exemplo do que ocorreu com as proteínas, os teores de clorofila total decresceram à medida que diminuía a disponibilidade hídrica, nas determinações feitas aos 54 DAG, na fase de reprodução (TABELA 9 e FIGURA 7). Em termos absolutos, os teores de clorofila total determinados aos 54 DAG foram muito inferiores aos observados aos 40 DAG. Esta redução de clorofila, mesmo no controle, pode ser explicada pelo início de senescência precoce da folha escolhida para amostragem (2ª a partir do ápice) por influência dos nós reprodutivos (PATE et al., 1983). Em caupi são as folhas de inserção mais baixa que são fotossinteticamente mais ativas na produção de fotoassimilados para atender a demanda dos drenos reprodutivos (SUMMERFIELD et al., 1985).

Segundo ALBERT et al. (1975), a redução do teor de clorofila reflete o efeito do déficit hídrico sobre a sua síntese. O estresse hídrico pode também acelerar a degradação da clorofila (BHARDWAJA & SINGHAL, 1981). Estudando o algodão, VIEIRA DA SILVA et al. (1974) observaram reduções no teor de clorofila devido à desorganização da estrutura subcelular dos cloroplastos.

COLOROFILA TOTAL (mg/gPS)

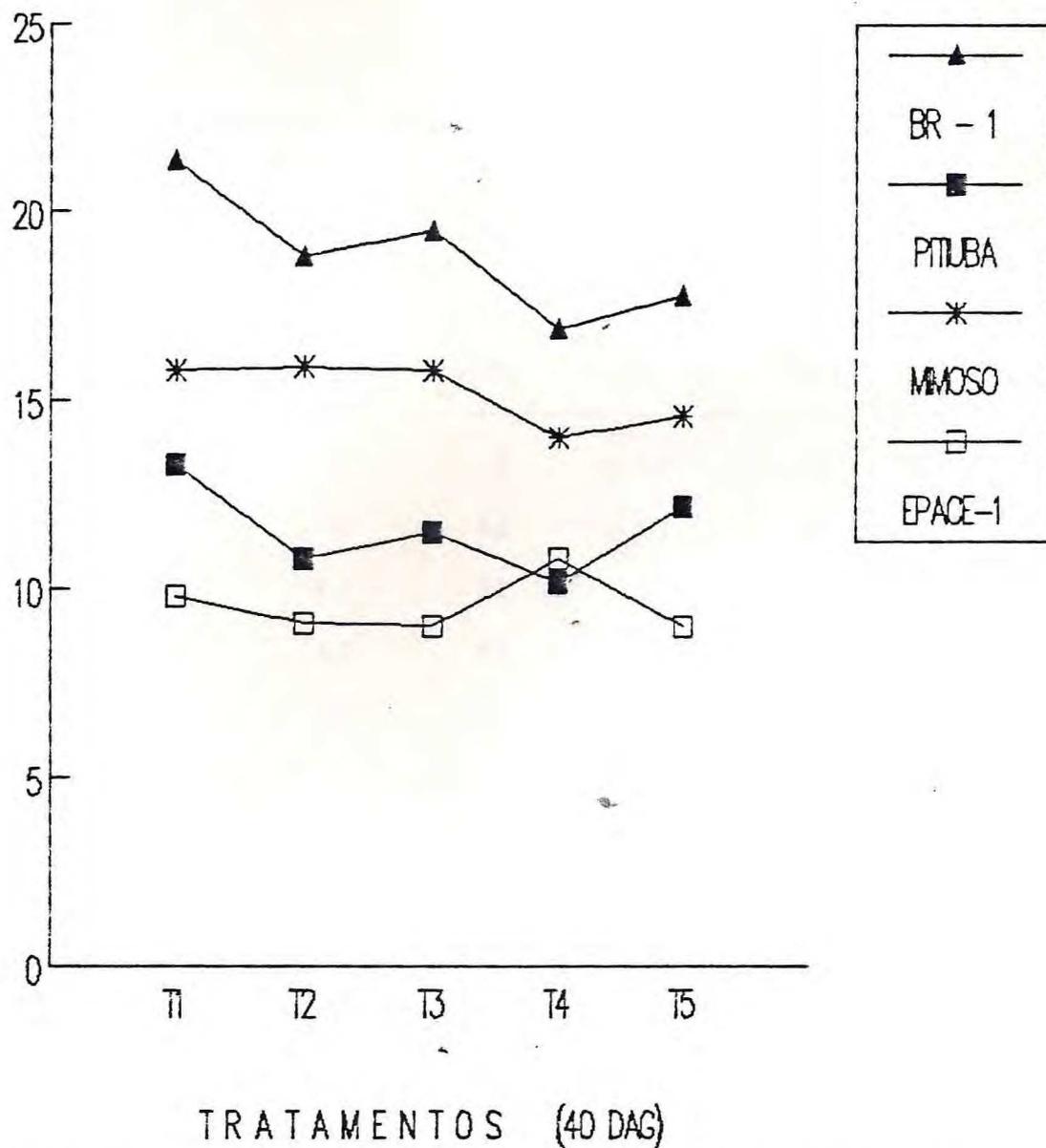
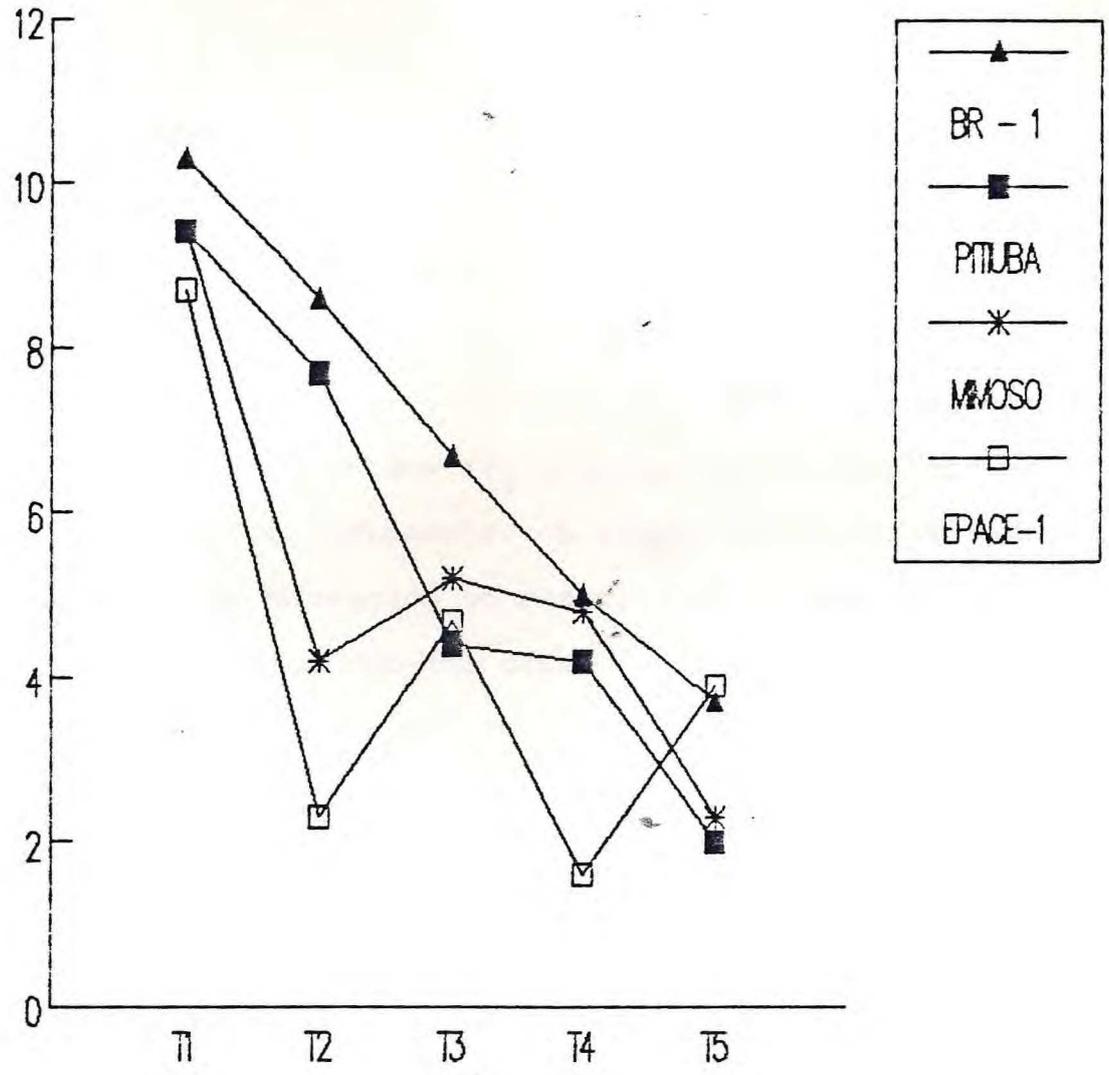


FIGURA 6 - Variações do teor de clorofila total nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 40 DAG.

TABELA 9 - Valores do teor de clorofila total (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s					
	BR - 1	PITIÚBA	MIMOSO	EPAGE - 1	MÉDIA	%
T 1	10.3	9.4	9.4	8.7	9.4	100.0
T 2	8.6	7.7	4.2	2.3	5.7	60.6
T 3	6.7	4.4	5.2	4.7	5.2	55.3
T 4	5.0	4.2	4.8	1.6	3.9	41.4
T 5	3.7	2.0	2.3	3.9	3.0	29.0
MÉDIA	6.9	5.5	5.2	4.2		

CLOROFILA TOTAL (mg/gPS)



TRATAMENTOS (54 DAG)

FIGURA 7 - Variações do teor de clorofila total nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 54 DAG.

#### 4.4 - Teores de Lipídios Totais em Extratos Foliares

Os teores de lipídios totais determinados aos 40 DAG apresentaram uma tendência de redução linear à medida que diminuía a disponibilidade hídrica no solo (TABELA 10 e FIGURA 8). Não houve diferenças acentuadas entre as cultivares quando foram considerados os cinco tratamentos. Nos tratamentos mais estressados ( $T_4$  e  $T_5$ ), analisando-se as quatro cultivares conjuntamente, os teores de lipídios representavam 58% do mensurado no controle ( $T_1$ ). Contudo, essa redução de lipídios não foi capaz de induzir decréscimos significativos nos teores de proteína e clorofila (TABELAS 6 e 8).

Nas mensurações feitas aos 54 DAG, na fase de reprodução, o déficit hídrico no solo não induziu grandes reduções nos teores de lipídios dos extratos foliares (TABELA 11 e FIGURA 9). Neste mesmo dia, os teores de clorofila total tiveram reduções acentuadas (TABELA 9) com  $T_5$  apresentando somente 29% do presente em  $T_1$ . Como as folhas de caupi não armazenam lipídios, os teores determinados estão relacionados com a sua participação na composição das membranas celulares. Possivelmente, a redução no teor de clorofila deve ser atribuída a uma desorganização particular dos cloroplastos que foram reconhecidos como as organelas mais sensíveis ao estresse hídrico (VIEIRA DA SILVA et al., 1974).

TABELA 10 - Valores do teor de lipídios totais (mg/gPS) das folhas de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (40 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s					MÉDIA	%
	BR - 1	PITIÚBA	MINOSO	EPACE - 1			
T 1	0.26	0.31	0.32	0.35	0.31	100.0	
T 2	0.20	0.24	0.25	0.27	0.24	77.4	
T 3	0.25	0.21	0.25	0.22	0.23	74.1	
T 4	0.19	0.18	0.20	0.16	0.18	58.0	
T 5	0.19	0.16	0.19	0.18	0.18	58.0	
MÉDIA	0.22	0.22	0.24	0.24			

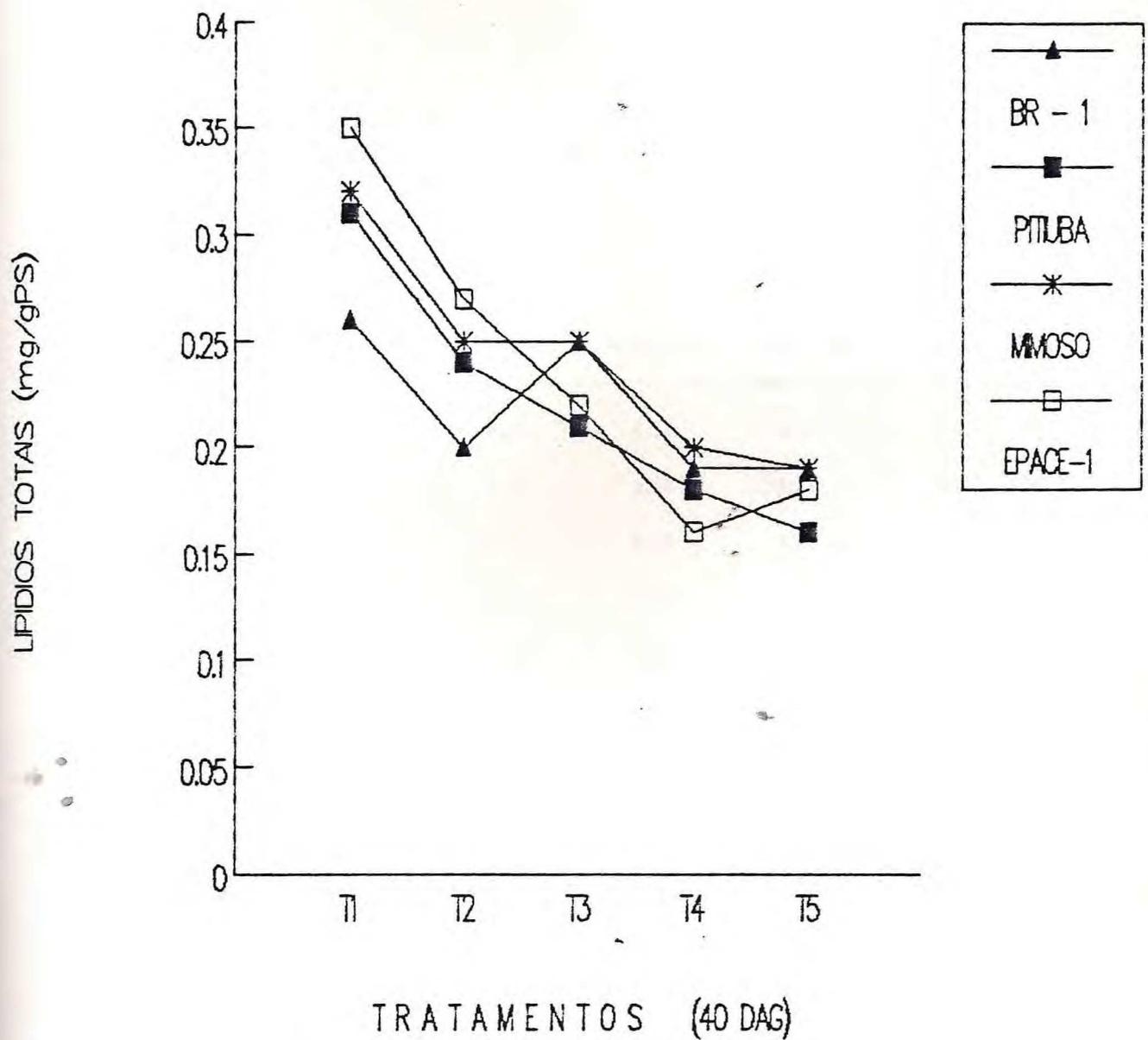


FIGURA 8 - Variações do teor de lipídios totais nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 40 DAG.

TABELA 11 - Valores do teor de lipídios totais (mg/gPS) nas folhas de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilização hídrica (54 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s					MÉDIA	%
	BR - 1	PITIÚBA	MINOSO	EPAGE - 1			
T 1	0.13	0.10	0.13	0.11	0.11	100.0	
T 2	0.12	0.10	0.12	0.13	0.11	100.0	
T 3	0.16	0.12	0.12	0.10	0.12	109.0	
T 4	0.10	0.11	0.12	0.12	0.11	100.0	
T 5	0.10	0.10	0.12	0.10	0.10	90.9	
MÉDIA	0.12	0.10	0.12	0.11			

LÍPIDIOS TOTAIS (mg/gPS)

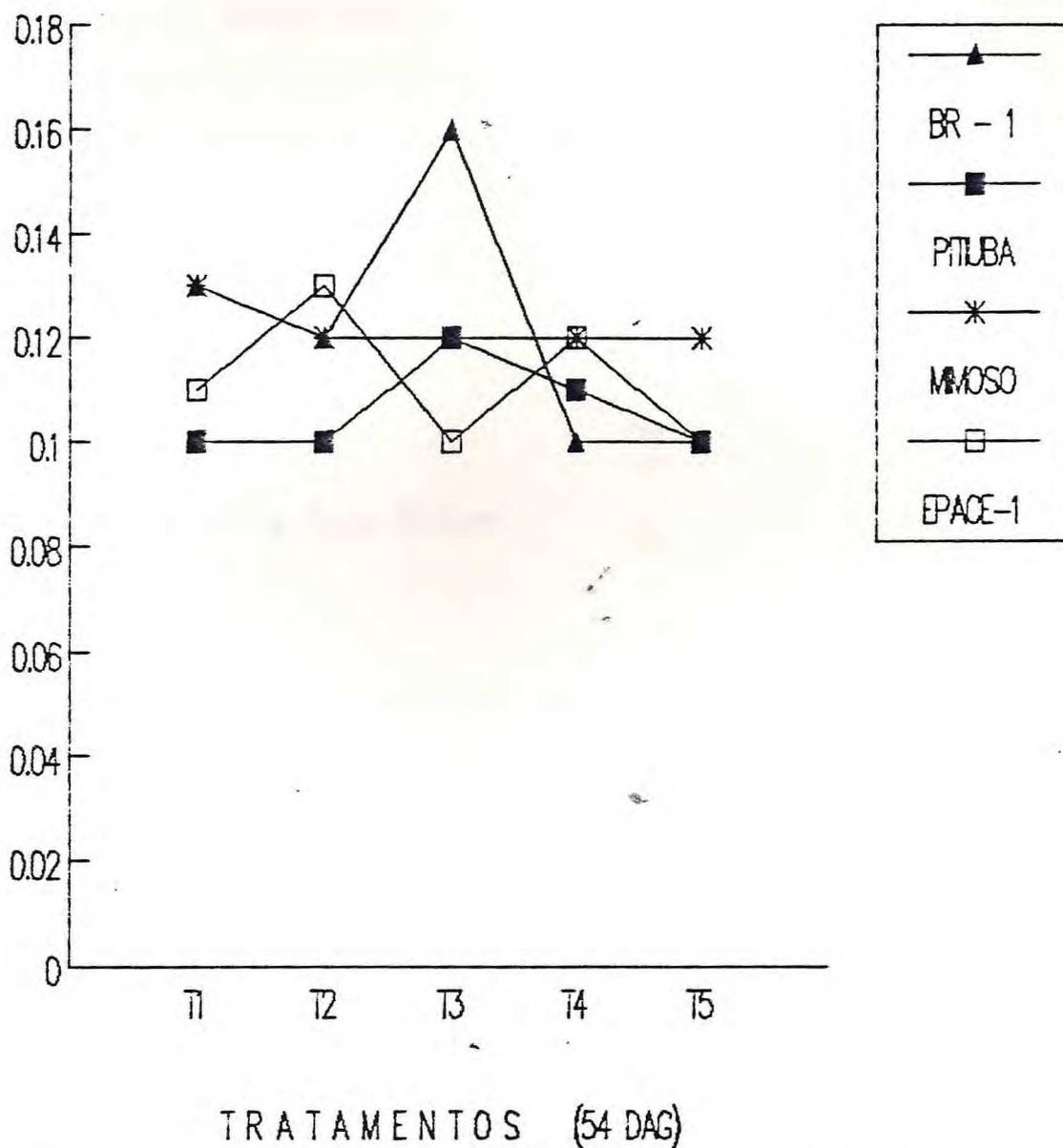


FIGURA 9 - Variações do teor de lipídios totais nas folhas de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 54 DAG.

o baixo índice de quebra dos lipídios pelos tecidos foliares do caupi mesmo quando submetidos a estresse hídrico severo na fase de reprodução, se apresenta como importante mecanismo de tolerância a seca. Constitui-se, provavelmente, na explicação do alto poder de recuperação desta cultura quando reidratada, mesmo que anteriormente tenha experimentado severo estresse hídrico.

#### 4.5 - Determinação da Área Foliar

De acordo com os dados da TABELA 12 e FIGURA 10, a área foliar das cultivares de caupi medida ao final da fase vegetativa (40 DAG) sofreu acentuada redução nos tratamentos mais estressados ( $T_4$  e  $T_5$ ) em relação aos mais úmidos ( $T_1$  e  $T_2$ ). Considerando-se todas as cultivares, as plantas no  $T_3$  apresentaram somente 32,9% da área foliar do  $T_1$ .

Nas determinações feitas aos 54 DAG (fase de reprodução), não houve acréscimos significativos na área foliar das cultivares estudadas indicando uma estabilização do desenvolvimento da copa ao final do período vegetativo (TABELA 13 e FIGURA 11). A mesma tendência verificada na determinação anterior (40 DAG) continuou, com os menores valores sendo sempre encontrados nos tratamentos mais estressados. No  $T_3$ , a área foliar representou 44,3% da observada em  $T_1$ , considerando-se todas as cultivares. Esta redução menor re-

TABELA 13 - Valores da área foliar ( $\text{dm}^2$ ) de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIUBA	MIKOSO	EPACE - 1	MÉDIA
T 1	3.25	2.03	2.76	2.54	2.64
T 2	3.24	2.43	2.53	3.66	2.96
T 3	2.46	2.35	2.00	2.43	2.31
T 4	1.52	1.34	1.53	1.05	1.36
T 5	1.44	1.36	1.05	0.87	1.17
MÉDIA	2.38	1.90	1.97	2.11	

AREA FOLIAR (dm<sup>2</sup>)

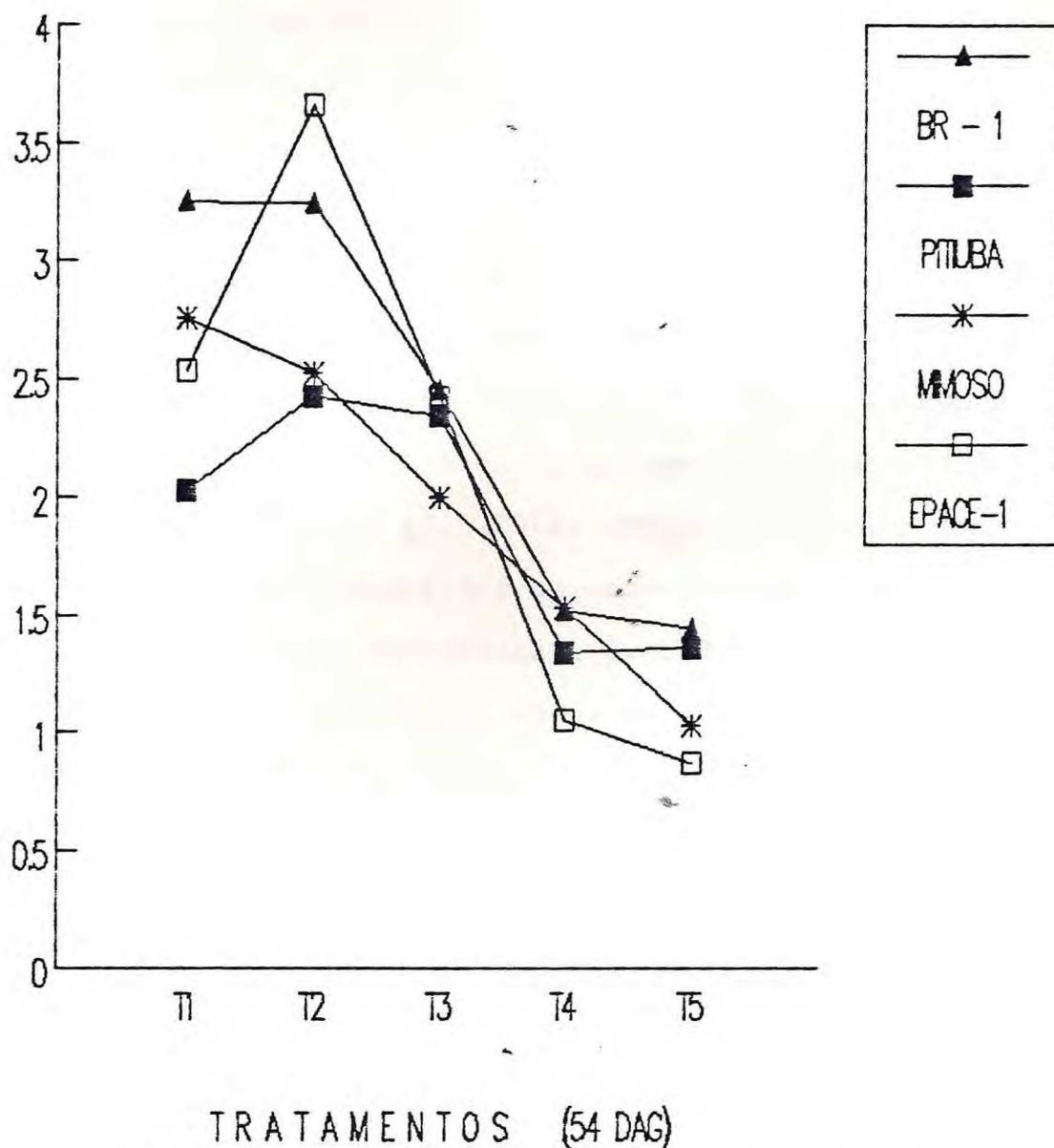


FIGURA 11 - Variações da área foliar de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 54 DAG.

sultou da estabilização da curva de crescimento da área foliar, com essas observações estando de acordo com as determinações de PORTO FILHO (1986).

As quatro cultivares de caupi estudadas, quando submetidas a déficit de água no solo apresentaram grande redução na área foliar (em especial durante a fase vegetativa). Provavelmente, este é o mecanismo principal de escape a seca (TURK et al., 1980), sendo responsável pela manutenção dos valores relativamente altos de potencial foliar (TURK & HALL, 1980a). HILER et al. (1972) também observaram em experimentos com caupi conduzidos em casa-de-vegetação grandes reduções na altura das plantas, área foliar e matéria seca total devido a ocorrência de estresse hídrico severo, em todas as fases de crescimento. Em caupi cultivado em condições de campo, WIEN et al., (1979b) observaram menor número de folhas e reduzida área foliar, mas pequena redução no peso seco da parte aérea devido a ocorrência de estresse hídrico moderado. Aparentemente, o escape à seca do caupi é parcialmente devido as baixas taxas de transpiração resultantes da reduzida área foliar total. Segundo TURK & HALL (1980b) quando a redução da área foliar ocorre após a floração ter se iniciado, há uma diminuição da produção de grãos. Esses autores observaram, contudo, que a diminuição da área foliar ao fim da fase vegetativa não está correlacionada com a produção de grãos.

#### 4.6 - Determinação do Peso Seco da Parte Aérea

A redução da disponibilidade hídrica no solo induziu de crêscimos significativos, aos 40 DAG, no peso seco da parte aérea em todas as cultivares estudadas (TABELA 14 e FIGURA 12). Em termos relativos, no  $T_1$ , a cultivar Epace-1 apresentou o maior peso seco da parte aérea (27,7g/planta) e a cultivar Mimoso o mais baixo (19,1g/planta). Quando submetidas ao tratamento mais estressado ( $T_5$ ), o peso da parte aérea variou entre 3,9 a 7,4g/planta. Considerando todas as cultivares, o  $T_5$  apresentou somente 23,1% do peso seco da parte aérea de  $T_1$ . Essas acentuadas reduções são expressões da tolerância à seca do caupi através dos mecanismos de esquivia ("drought avoidance"). Nessa, quando submetida a deficiência de água no solo, ocorreu uma acentuada redução do crescimento foliar e produção de matéria seca, com um concomitante controle de perda de água pelas folhas conforme demonstrado pelos valores de potencial hídrico mensurados. Esses dados estão de acordo com as observações de TURK & HALL (1980b) e explica porque o caupi, quando em condições de campo, não sofre reduções marcantes de potencial hídrico, mesmo com intensa deficiência de água no solo.

Nas determinações feitas aos 54 DAG, na fase de reprodução, a tendência de redução do peso seco da parte aérea à medida que diminuía a disponibilidade hídrica ainda continuou (TABELA 15 e FIGURA 13). Essa diminuição, no entanto

TABELA 14 - Valores do peso seco da parte aérea (g/planta) de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilização hídrica (40 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				MÉDIA
	BR - 1	PITIUBA	NIMOSO	EPAGE - 1	
T 1	25.7	21.3	19.1	27.7	22.9
T 2	21.5	15.9	14.8	12.8	16.2
T 3	11.7	21.9	11.0	13.8	14.6
T 4	6.8	12.0	15.6	8.4	10.7
T 5	3.9	7.4	5.3	4.6	5.3
MÉDIA	13.5	15.7	13.2	13.5	

TABELA 15 - Valores do peso seco da parte aérea (g/planta) de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica (54 DAG).

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÓBA	MIMOSO	EPACE - 1	MÉDIA
T 1	50.8	40.4	49.8	50.0	47.7
T 2	45.6	54.1	55.2	67.5	55.6
T 3	49.8	46.9	53.7	42.5	48.2
T 4	55.3	29.9	38.1	29.5	38.2
T 5	32.7	34.9	25.4	28.9	30.5
MÉDIA	46.8	41.2	44.4	43.7	

PESO SECO DA PARTE AÉREA (g)

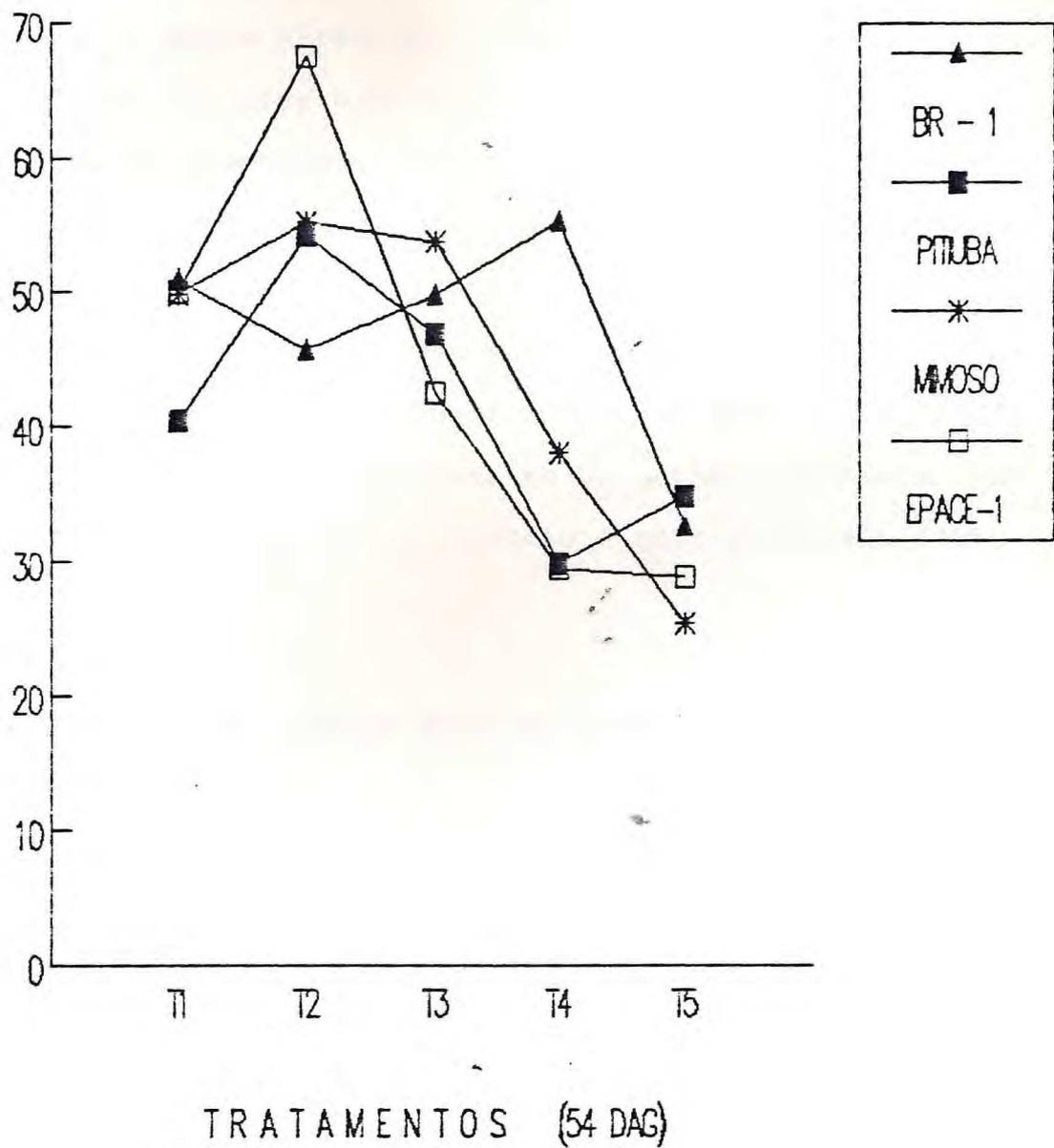


FIGURA 13 - Variações do peso seco da parte aérea de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica aos 54 DAG.

foi mais moderada. Considerando-se todas as cultivares, o peso seco da parte aérea no  $T_5$  representou 63,4% daquele de terminado no  $T_1$ . Essa diminuição mais restrita, quando comparada com as observadas aos 40 DAG pode ser explicada pela época da determinação, quando a planta tinha vagens em processo de formação (enchimento de grãos) e o crescimento da área foliar já havia se estabilizado. Em termos relativos, a cultivar Pitiúba foi a que apresentou a menor redução de peso seco da parte aérea em  $T_5$  quando comparada com os valores de  $T_1$  (15,9%) e a Mimoso a mais acentuada (49%).

#### 4.7 - Variações no Número Médio de Vagens por Planta

O número médio de vagens por planta variou significativamente em resposta aos diversos tratamentos, quando foram consideradas todas as cultivares (TABELA 16 e FIGURA 14). Em todas as quatro cultivares estudadas, o número médio de vagens por planta foi sempre maior em  $T_2$  do que em  $T_1$ . O tratamento controle ( $T_1$ ) foi sempre mantido na capacidade de campo, com a provável ocorrência de baixa aeração do sistema radicular, que deve ter influenciado o vingamento das vagens. A baixa pressão parcial do oxigênio no solo, possivelmente, induziu formação de hormônio indutor de abscisão floral, a exemplo do observado pela deficiência de água.

TABELA 16 - Valores do número médio de vagens por planta de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				MÉDIA
	BR - 1	PITIÚBA	MIMOSO	EPACE - 1	
T 1	15.9	12.9	7.7	16.7	13.3 AB
T 2	16.5	15.4	8.2	19.5	14.9 A
T 3	15.1	11.5	9.6	10.8	11.8 AB
T 4	14.0	7.8	8.6	9.2	9.9 BC
T 5	7.5	6.8	5.5	10.7	7.6 C
MÉDIA	13.8 a	10.9 ab	7.9 b	13.4 a	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada coluna, ou pela mesma letra minúscula, em cada linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

NUMERO MEDIO DE VAGENS POR PLANTA

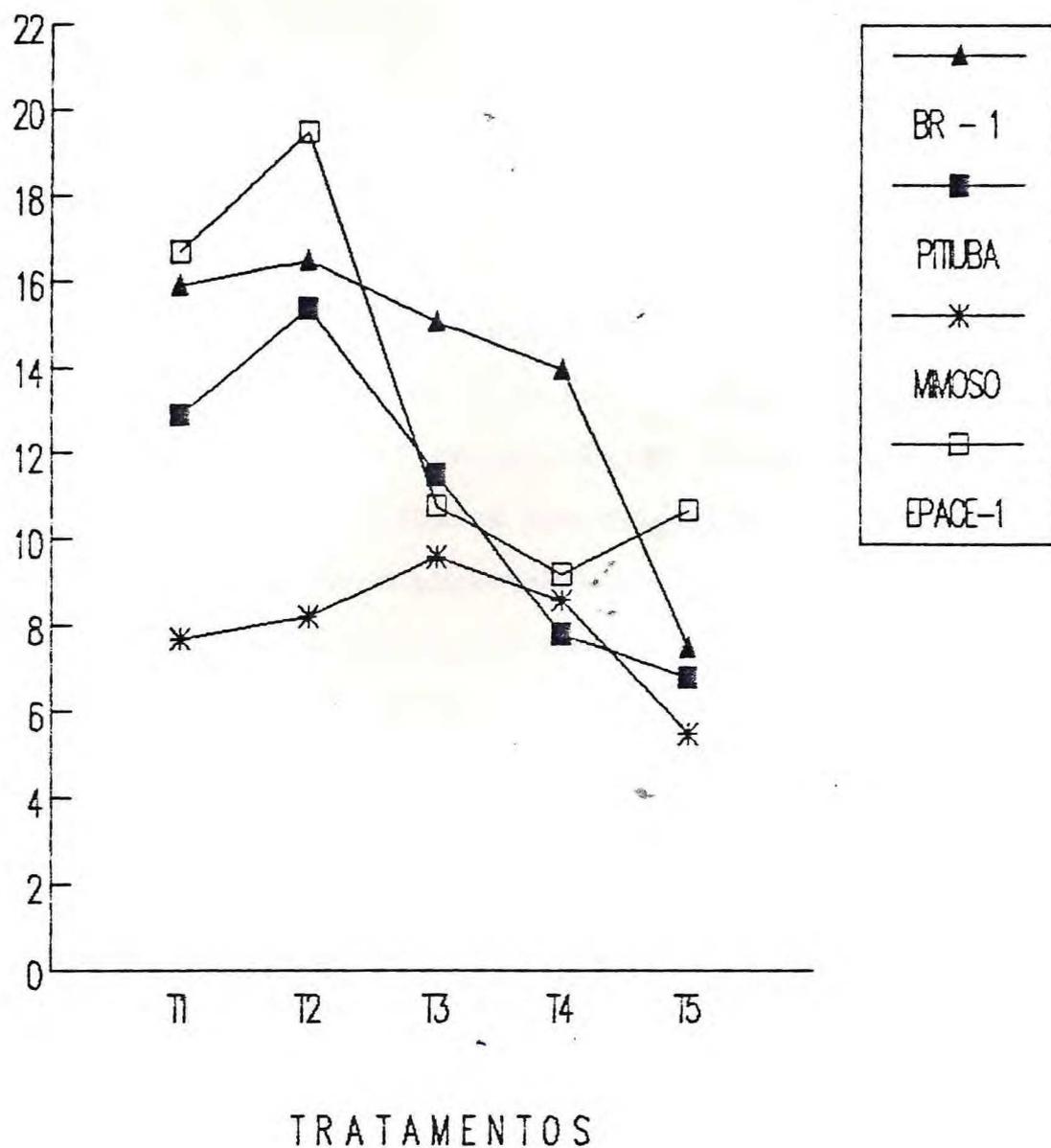


FIGURA 14 - Variações do número de vagens por planta de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

O déficit hídrico nas plantas há muito é reconhecido como indutor da formação do ácido abscísico (ABA), conforme observações de HIRON & WRIGHT (1973), HSIAO (1973), BEARDSELL & COHEN (1975) e WRIGHT (1977). O ABA diminui a perda de água pelas plantas devido ao fechamento dos estômatos e conseqüente redução na transpiração. O encharcamento do solo é também capaz de provocar alterações fisiológicas, como a redução da absorção de água pela diminuição da permeabilidade das raízes (SCOTT RUSSEL, 1977). Aumentos no teor de ABA e da resistência difusiva dos estômatos, em resposta à saturação do solo, foram observados por HIRON & WRIGHT (1973). Estudando as respostas do feijão comum (Phaseolus vulgaris L.) à saturação do solo, SCHRAVENDIJK & ANDEL (1985) observaram que, após dois dias de encharcamento do solo, ocorreram aumentos acentuados nos teores foliares de ABA e da resistência difusiva dos estômatos. O crescimento foliar foi inibido e a taxa de transpiração reduzida. Houve grande semelhança entre as respostas das plantas de feijão comum à saturação do solo em relação aquelas induzidas pelo déficit hídrico.

A ocorrência de fenômeno similar em caupi explicaria o porquê das chuvas contínuas e intensas, em especial durante a floração, induzirem baixa produtividade dessa cultura em condições de agricultura de sequeiro. Quando irrigado, deve se levar em conta o nível de oxigenação do sistema radicular da cultura do caupi na definição da lâmina de irrigação. MINCHIN et al. (1978) & WIEN et al. (1979a) observa-

ram que o encharcamento do solo induziu grandes reduções na produção de grãos em caupi.

A redução progressiva na disponibilidade de água no solo induziu decréscimo no número de vagens por planta. Considerando todas as quatro cultivares, o número de vagens formadas em T<sub>5</sub> em relação a T<sub>2</sub> foi de somente 51%. Provavelmente, como já discutido, houve a formação do ABA que promoveu elevada taxa de abscisão floral, reduzindo o tamanho dos drenos reprodutivos. A redução da área foliar em resposta ao estresse hídrico já havia limitado as fontes de carboidratos. Por conseguinte, a redução no número de vagens formadas pode ser vista como um possível mecanismo adaptativo. Ocorrendo a limitação dos drenos reprodutivos, torna-se possível formar vagens normais com sementes viáveis, mesmo se há grandes limitações nas fontes de carboidratos para atender a demanda dos fotoassimilados.

#### 4.8 - Tamanho Médio das Vagens

Os tamanhos médios das vagens das quatro cultivares não foram significativamente afetados pela redução da disponibilidade hídrica do solo (TABELA 17 e FIGURA 15). Comparando-se as cultivares, observou-se que Pitiúba e Mimoso apresentaram as vagens mais longas, 18,9cm e 18,5cm, respectivamente. A Epace-1 apresentou as vagens mais curtas com o

TABELA 17 - Valores do tamanho médio de vagens (cm) de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÚBA	MINOSÉ	EPAGE - 1	MÉDIA
T 1	17.1	19.2	18.4	15.0	17.4
T 2	17.5	19.2	18.5	13.1	17.1
T 3	16.7	18.3	18.4	15.4	17.2
T 4	17.6	18.7	18.2	13.9	17.1
T 5	17.4	19.2	18.6	14.1	17.4
MÉDIA	17.3 b	18.9 a	18.5 ab	14.3 c	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada coluna, ou pela mesma letra minúscula, em cada linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

TAMANHO MEDIO DE VAGENS (cm)

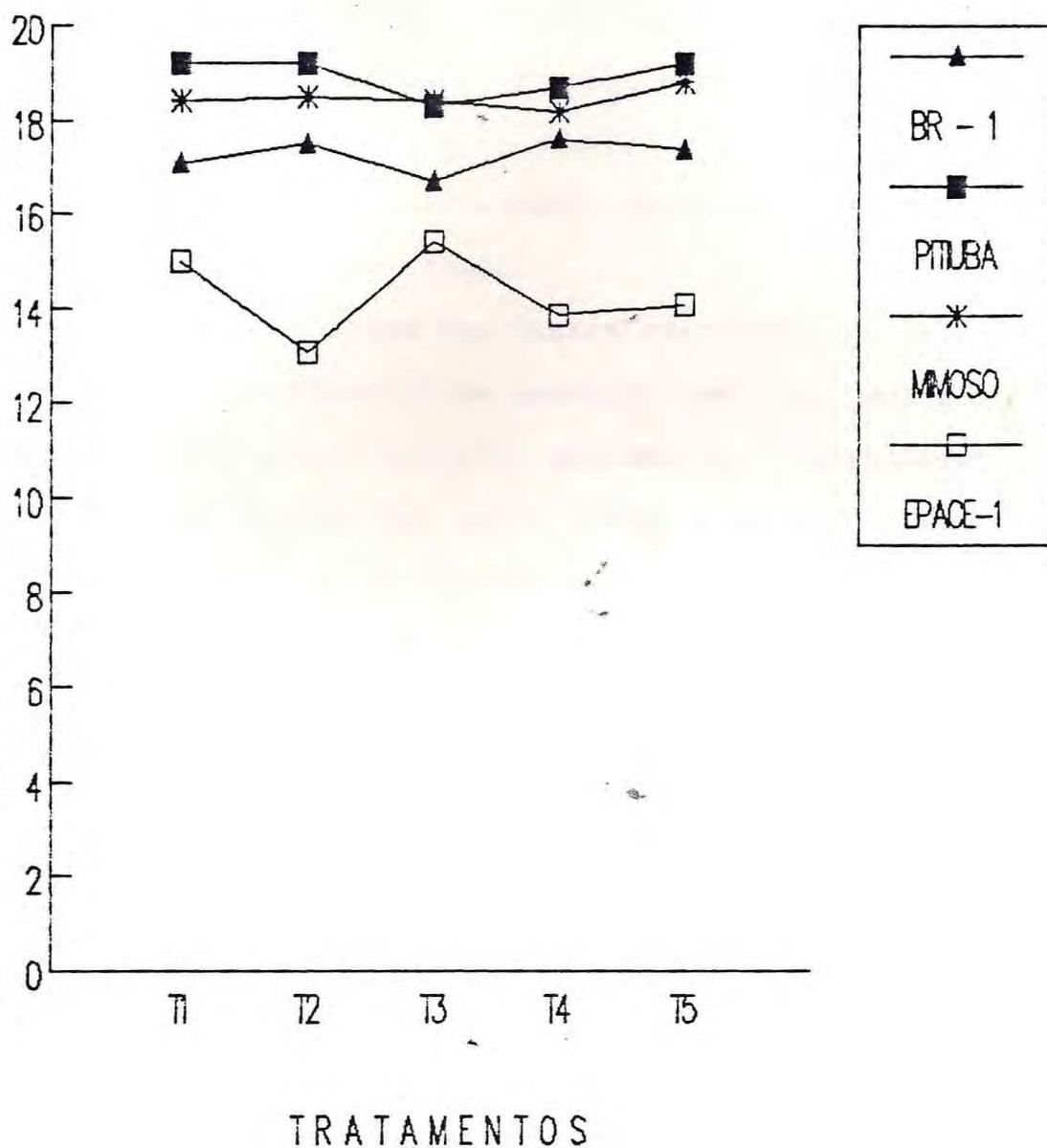


FIGURA 15 - Variações do tamanho médio de vagens de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

valor médio de 14,3cm.

Diversos estudos indicaram que o comprimento das vagens tem heritabilidade moderada ou alta, sendo estimado em 75,2% em média (FERY, 1985). Geralmente, a característica de vagem longa é parcial ou totalmente dominante sobre as vagens curtas (BRITTINGHAM, 1950).

Comprimento de vagem das quatro cultivares de caupi estudadas foi uma característica genética que se mostrou pouco influenciada pelas variações ambientais. Resultados semelhantes foram obtidos por SILVA (1990) estudando o comprimento médio de vagens de Pitiúba e TVu-4552 quando submetidas a três níveis de irrigação e três densidades populacionais. Segundo SUMMERFIELD et al. (1985), comprimento de vagem em caupi é uma característica relativamente homeostática que raramente contribui para variações na produção de grãos de um genótipo particular, em resposta às variações ambientais.

#### 4.9 - Número Médio de Grãos por Vagem

Com relação ao número médio de grãos por vagem, nas cultivares BR-1, Pitiúba e Mimoso, não houve reduções significativas com as variações dos níveis de disponibilidade hídrica no solo (TABELA 18 e FIGURA 16). MAGALHÃES et al. (1979) também observaram em seus estudos que não houve efei

TABELA 18 - Valores do número médio de grãos por vagem de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÓBA	MIMOSO	EPAGE - 1	MÉDIA
T 1	13.0 Aa	13.0 Aa	13.5 Aa	12.0 Aa	12.9
T 2	13.5 Aa	13.0 Aa	14.0 Aa	11.0 Aa	12.9
T 3	13.0 Aa	13.0 Aa	14.0 Aa	7.5 Bb	11.9
T 4	13.5 Aa	11.5 Aa	12.5 Aa	9.5 ABa	11.7
T 5	14.0 Aa	13.5 Aa	12.0 Aa	7.0 Bb	11.6
MÉDIA	13.4 a	12.8 a	13.2 a	9.4 b	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada coluna, ou pela mesma letra minúscula, em cada linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

NUMERO MEDIO DE GRAOS POR VAGEM

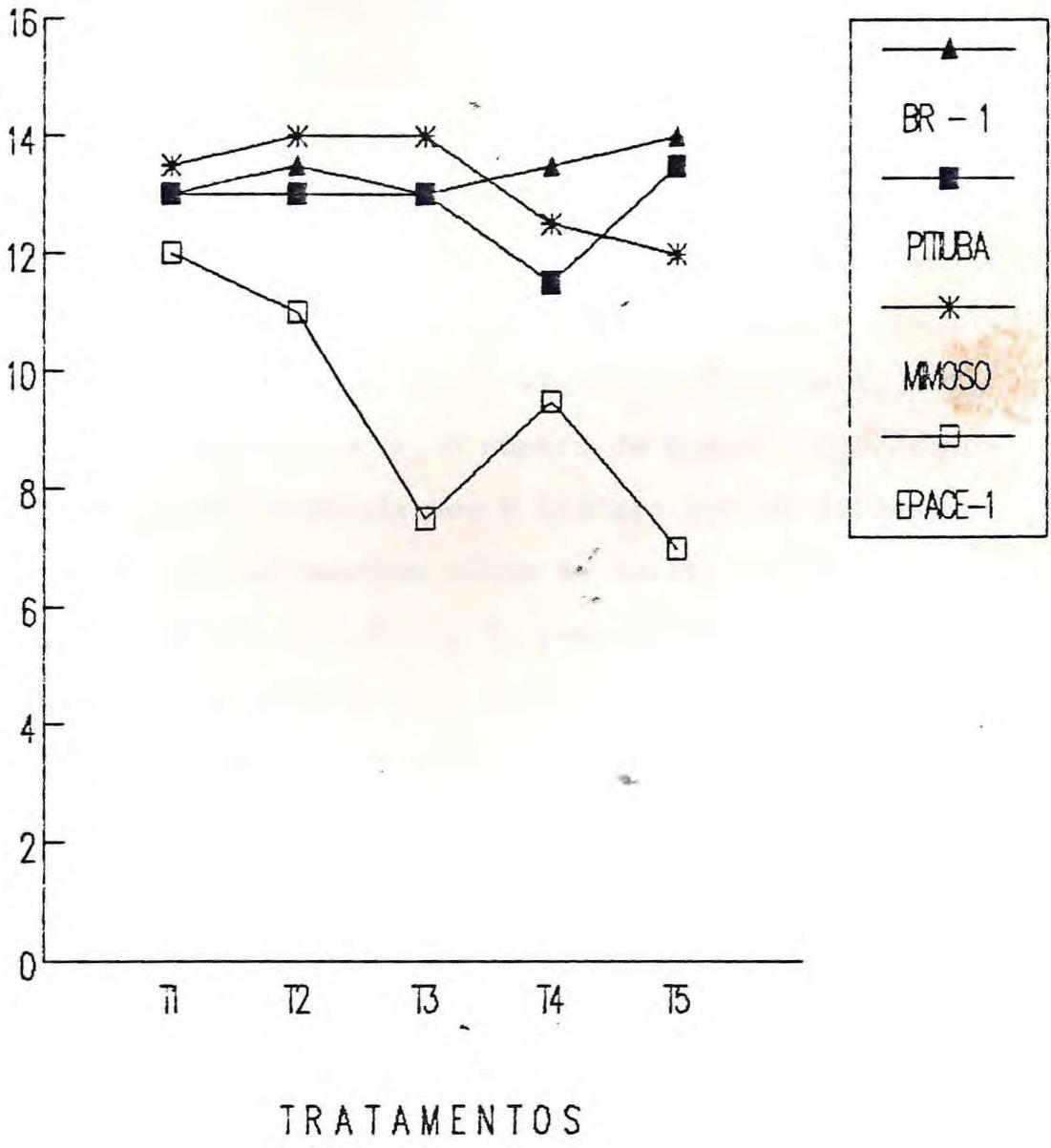


FIGURA 16 - Variações do número médio de grãos por vagem de quatro cultivares de caupi submetidos a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

to significativo da deficiência hídrica no número de grãos por vagem em feijão comum. No entanto, a cultivar Epace-1 sofreu significativa redução no número médio de grãos por vagem com o aumento da carência hídrica do solo. No T<sub>5</sub>, o número de grãos por vagem correspondeu à somente 58,3% do observado em T<sub>1</sub>. Comparando-se com as demais cultivares, a Epace-1, em todos os tratamentos, apresentou sempre menor número de grãos por vagem, sendo significativas em T<sub>3</sub> e T<sub>5</sub>.

Em termos genéticos, o número de grãos por vagem tem heritabilidade moderada para a maioria das condições ambientais, com uma estimativa média de 52,8%. (FERY, 1985). A característica de ocorrência de pequeno número de grãos por vagem foi considerada como parcialmente dominante sobre a da formação de um grande número, sendo definido por um simples fator efetivo.

#### 4.10 - Peso Médio de 100 Grãos

Os valores correspondentes ao peso médio de 100 grãos encontram-se na TABELA 19. A análise estatística feita pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, mostrou que não houve diferenças significativas entre tratamentos e entre cultivares. No entanto, nos tratamentos mais estressados (T<sub>4</sub> e T<sub>5</sub>) houve uma leve tendência de aumento do peso médio de 100 grãos nas quatro cultivares estudadas (FI

TABELA 19 - Valores do peso médio de 100 grãos (g) de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÓBA	MINOSO	EPAE - 1	MÉDIA
T 1	15.0	16.3	16.3	14.8	15.6
T 2	15.5	16.3	15.7	14.5	15.5
T 3	15.4	14.7	15.6	17.7	15.8
T 4	15.3	17.3	16.3	14.6	15.9
T 5	15.8	18.6	17.2	15.3	16.7
MÉDIA	15.4	16.7	16.2	15.4	

A ausência de letras indica que não houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

GURA 17). Nesse experimento, as cultivares de caupi limitaram os drenos reprodutivos essencialmente pela diminuição do número de vagens formadas por planta à medida que aumentava a deficiência hídrica no solo. Em outros estudos, a redução do peso médio de 100 grãos só foi observada em caupi quando o estresse hídrico era extremamente severo (TURK et al, 1980 e SILVA, 1990).

#### 4.11 - Peso do Pericarpo

Considerando-se os valores do peso do pericarpo para cada cultivar isoladamente, os tratamentos de estresse hídrico no solo não foram capazes de induzir diferenças significativas (TABELA 20). Na comparação entre cultivares, Mimoso apresentou significativamente os menores valores (378,6kg/ha) de pericarpo e a BR-1 os maiores (636,9kg/ha) quando expressos pela média de todos os tratamentos. Analisando se as cultivares em conjunto, os maiores valores de peso do pericarpo foram observados em T<sub>2</sub>, seguindo-se de uma tendência de decréscimo à medida que reduzia a disponibilidade hídrica no solo (FIGURA 18). O tratamento T<sub>5</sub> em termos de peso de pericarpo apresentou somente 58,2% do observado em T<sub>2</sub>. Reduzido aporte de matéria seca ao pericarpo indica que a deficiência hídrica no solo limitou a produção e transporte dos fotoassimilados.

PESO MEDIO DE 100 GRAOS (g)

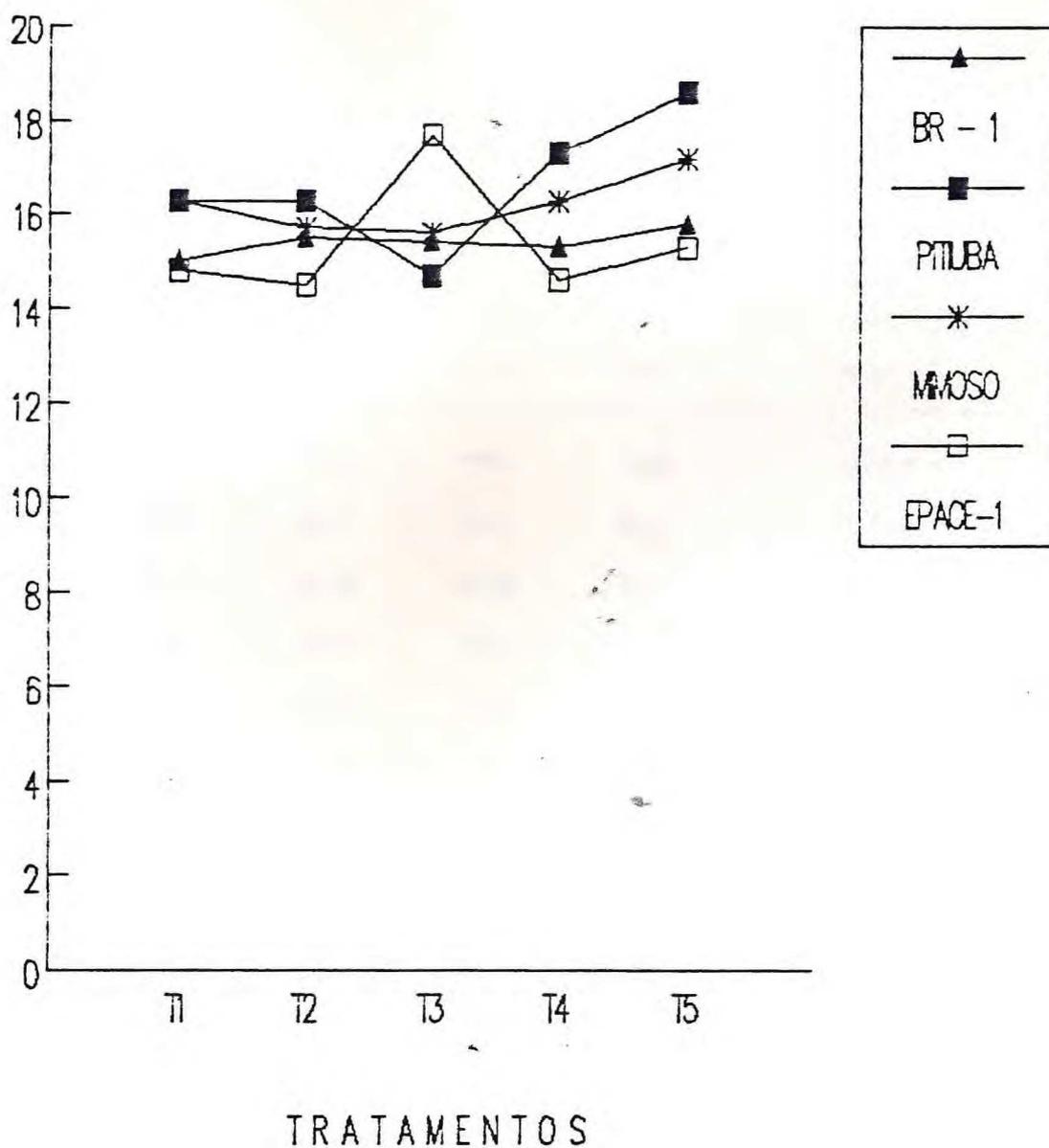


FIGURA 17 - Variações do peso médio de 100 grãos de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

TABELA 20 - Valores do peso do pericarpo (kg/ha) de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÚBA	MIMOSO	EPAGE - 1	MÉDIA
T 1	793.3	486.1	410.1	782.4	618.0 A
T 2	720.8	589.2	366.3	861.1	634.4 A
T 3	655.0	451.8	417.8	362.8	471.9 AB
T 4	644.0	321.4	425.0	386.7	444.3 AB
T 5	371.2	321.9	273.8	510.9	369.4 B
MÉDIA	636.9 a	434.1 ab	378.6 b	580.8 ab	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada coluna, ou pela mesma letra minúscula, em cada linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

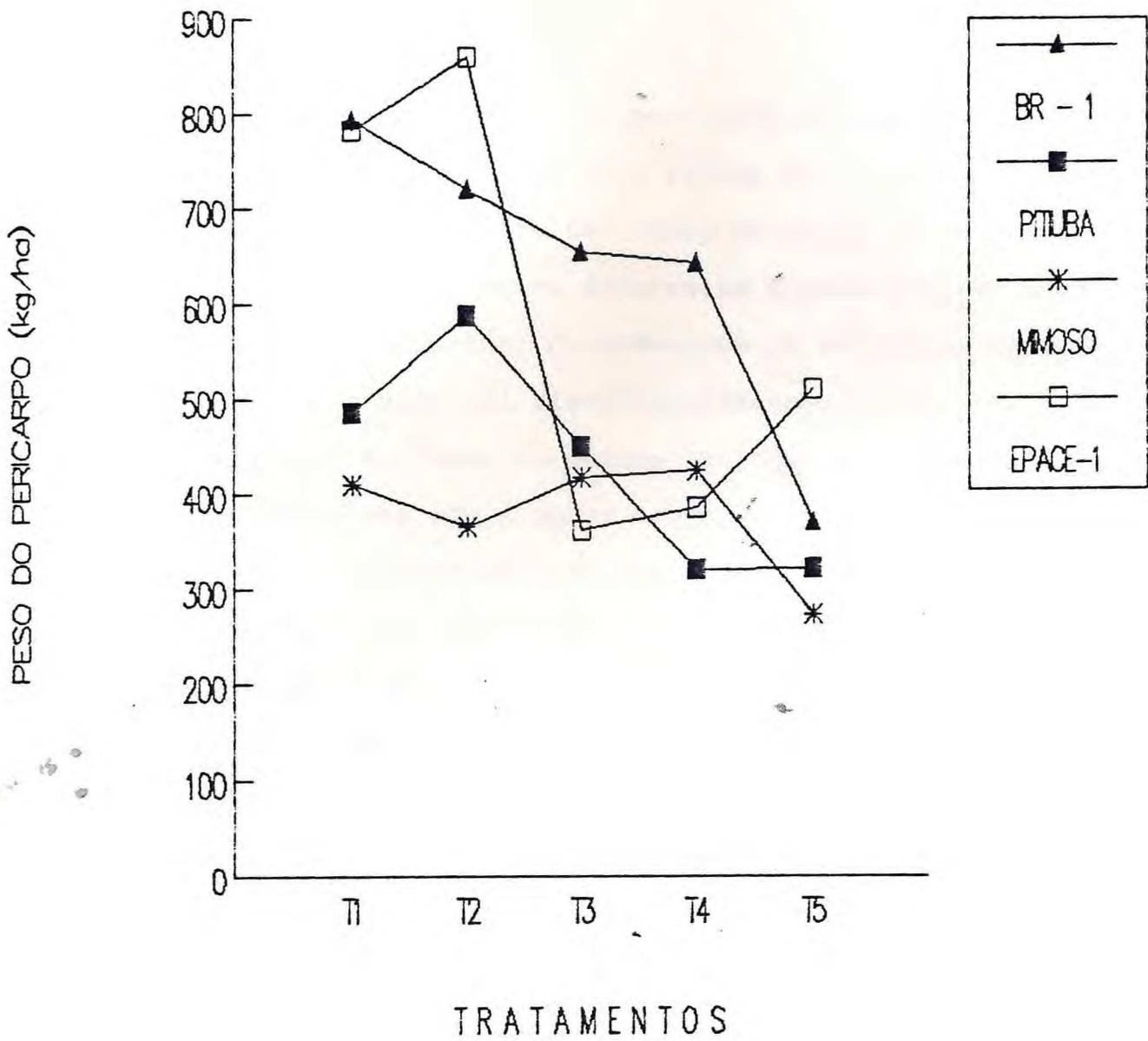


FIGURA 18 - Variações do peso do pericarpo de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

#### 4.12 - Produção Total de Grãos

Os dados relacionados com a produção de grãos encontram-se expressos na TABELA 21 e FIGURA 19. A análise estatística, com base no teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, mostrou que houve diferenças significativas entre cultivares e tratamentos. Considerando-se as quatro cultivares, a maior produção foi significativamente obtida em T<sub>2</sub> (1658,2kg/ha). Em todos os outros tratamentos, houve diferenças significativas com o menor valor sendo obtido em T<sub>5</sub> (849,6kg/ha). A superioridade dos tratamentos mais hidratados (T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>), que determinaram maiores rendimentos, deve ser atribuída a manutenção de taxas fotossintéticas líquidas elevadas, maior absorção de radiação solar pelo desenvolvimento de extensa área foliar, possibilitando as plantas de caupi maior eficiência no uso da água (PHOGAT *et al.*, 1984b). Os tratamentos mais estressados, embora nem sempre tenham induzido diferenças significativas, apresentaram reduções acentuadas em parâmetros críticos para a produção, como área foliar e peso seco da parte aérea. Em termos dos componentes de produção, a redução significativa no número de vagens formadas por planta se apresentou como fator mais crítico na redução da produção de grãos (kg/ha) em resposta à deficiência hídrica no solo. Houve também diferenças significativas entre as cultivares, considerando-se todos os tratamentos, com os maiores valores de produção de grãos

TABELA 21 - Valores da produção total de grãos (kg/ha) de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

TRATAMENTOS	C u i t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÚBA	KIMOSO	EPACE - 1	MÉDIA
T 1	1749.5 A <sub>5a</sub>	1534.2 A <sub>8a</sub>	997.5 A <sub>a</sub>	1635.2 A <sub>8a</sub>	1479.1 B
T 2	1930.5 A <sub>a</sub>	1886.7 A <sub>aa</sub>	1048.2 A <sub>b</sub>	1767.5 A <sub>aa</sub>	1658.2 A
T 3	1652.2 A <sub>8a</sub>	1438.2 A <sub>8a</sub>	1183.5 A <sub>a</sub>	847.7 B <sub>a</sub>	1280.4 C
T 4	1601.2 A <sub>8a</sub>	945.5 B <sub>a</sub>	1043.2 A <sub>a</sub>	807.7 B <sub>b</sub>	1099.4 D
T 5	918.7 B <sub>a</sub>	1014.0 A <sub>8a</sub>	669.2 A <sub>a</sub>	796.2 B <sub>a</sub>	849.6 E
MÉDIA	1570.4 a	1363.7 ab	988.3 c	1170.9 bc	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada coluna, ou pela mesma letra minúscula, em cada linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

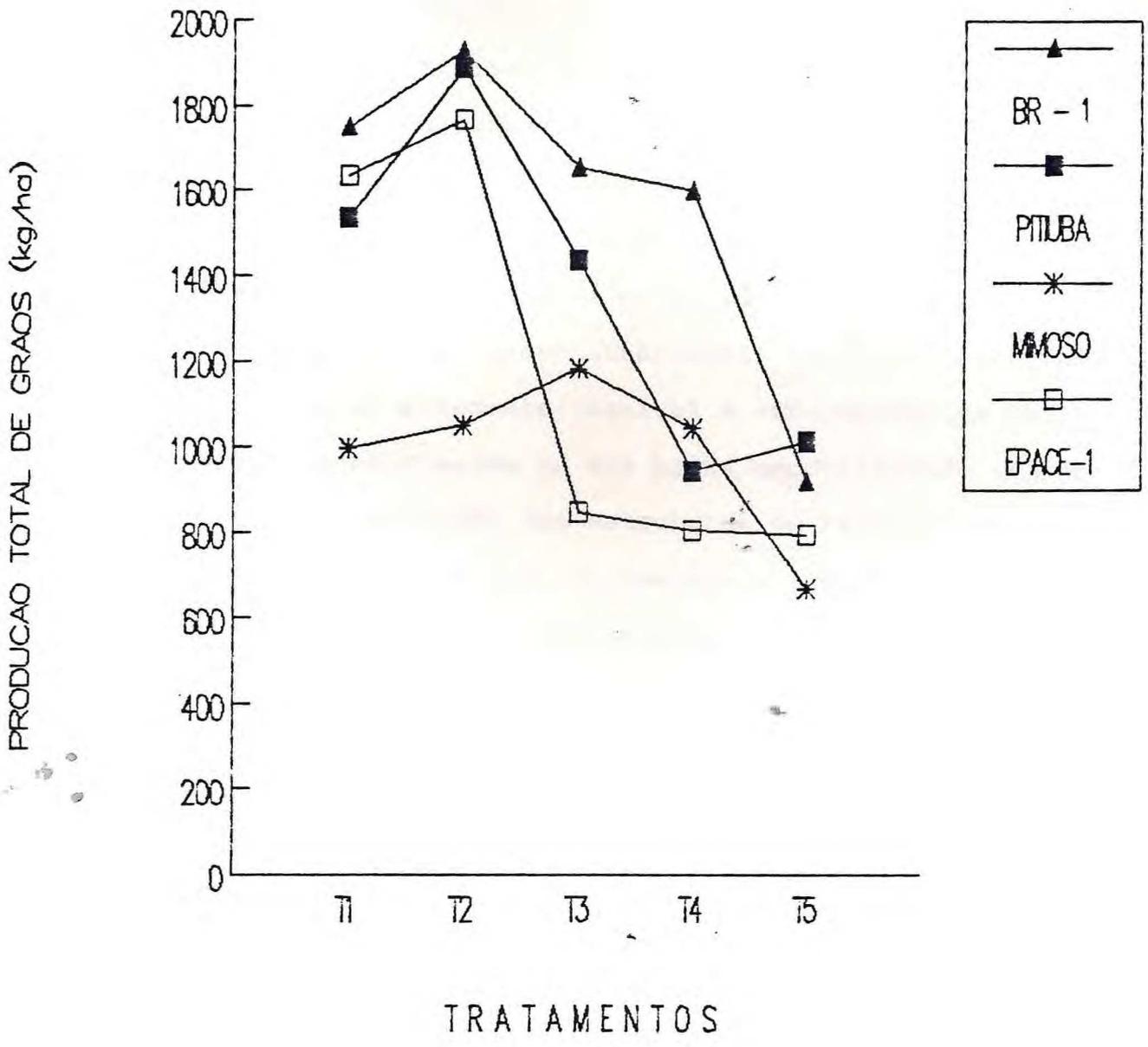


FIGURA 19 - Variações da produção total de grãos de quatro culti vares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

sendo observados na cultivar BR-1 (1570,4kg/ha) e os menores em Mimoso (988,3kg/ha).

A cultivar Mimoso, mesmo em condições altamente favoráveis de disponibilidade hídrica ( $T_1$  e  $T_2$ ) alcançou sempre valores de produção de grãos muito inferiores aos determinados para as três outras cultivares. Essa característica se expressou pela limitação na definição de drenos reprodutivos. Em trabalhos de campo anteriores, essa cultivar foi classificada como altamente sensível à seca, quando na realidade, o fator determinante de sua baixa produtividade é de outra natureza (limitação das estruturas de reprodução).

Nas cultivares aqui estudadas, a redução significativa da produção de grãos, em resposta a deficiência de água no solo, pode ser atribuída a limitação nas fontes dos carboidratos e o concomitante decréscimo no tamanho dos drenos reprodutivos. A redução nas fontes de fotoassimilados ficou evidente pela diminuição significativa de área foliar total e o peso seco da parte aérea em resposta ao estresse hídrico no solo. A manutenção de valores de potencial hídrico foliar relativamente elevados mesmo quando ocorreu intensa deficiência de água no solo, possivelmente resultou do fechamento dos estômatos com a consequente diminuição da atividade fotossintética. A redução no número de vagens formadas por planta foi a maneira mais eficiente desenvolvida pelas cultivares de caupi para reduzir os drenos reprodutivos. A formação de vagens por planta, nesse estudo, pode ser identificada como o componente de produção mais sensível ao es-

trêsse hídrico. Sob condições naturais, esse mecanismo de ajustamento do caupi assegura a produção de sementes viáveis, que deve ter se constituído em fator evolutivo crítico na adaptação dessa cultura ao semi-árido.

#### 4.13 - Eficiência do Uso de Água

Nas regiões semi-áridas, onde o suprimento de água é limitado e os custos de irrigação são elevados, é importante se considerar esquemas de irrigação com o intuito de mensurar a eficiência do uso de água. Na TABELA 22 e FIGURA 20 estão expressas as variações da eficiência do uso de água das quatro cultivares estudadas e dos cinco tratamentos de disponibilidade hídrica no solo. Partindo-se de  $T_1$ , em todas as cultivares, a eficiência de uso de água aumentou ligeiramente no tratamento  $T_2$ . Em todas as cultivares, o decréscimo na disponibilidade hídrica do solo induziu reduções na eficiência de uso de água sendo os menores valores obtidos em  $T_5$ . Resultados semelhantes foram obtidos por TURK & HALL (1980c). A observação de que a melhor eficiência do uso de água foi obtida em  $T_2$ , indica que o uso de água na cultura do caupi pode ser melhorado pela aplicação de déficit moderado de água no solo.

A ocorrência de carência hídrica mais severa no solo induziu reduções significativas da eficiência de uso de

TABELA 22 - Valores da eficiência do uso de água (kg/ha/mm) de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÚBA	MIMOSO	EPACE - 1	MÉDIA
T 1	5.4 Aa	4.7 Aa	3.1 Aa	5.0 Aa	4.5 B
T 2	6.2 Aa	6.1 Aa	3.4 Aa	5.7 Aa	5.4 A
T 3	6.0 Aa	5.2 Aa	4.3 Aa	3.1 Aa	4.6 B
T 4	6.6 Aa	3.9 Aad	4.3 Aab	3.3 Ab	4.5 B
T 5	4.2 Aa	4.6 Aa	3.1 Aa	3.6 Aa	3.9 C
MÉDIA	5.7 a	4.9 ad	3.6 c	4.2 bc	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada coluna, ou pela mesma letra minúscula, em cada linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

EFICIENCIA DO USO DE AGUA (kg/ha/mm)

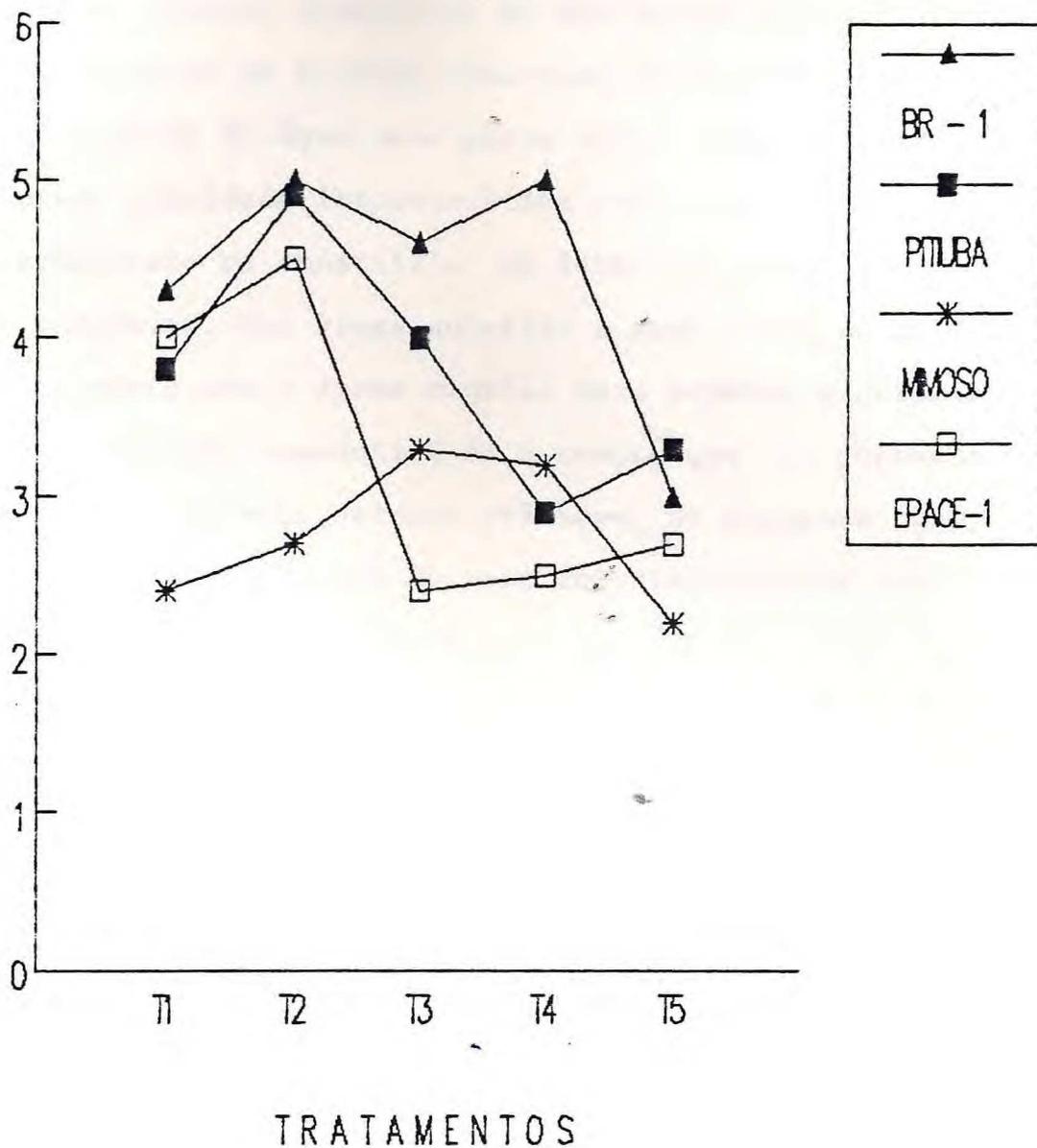


FIGURA 20 - Variações da eficiência do uso de água de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

água da cultura do caupi provavelmente pela diminuição na capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio e decréscimo do desenvolvimento do sistema radicular, em decorrência do controle de perda de água pela parte aérea. Como consequência, a menor atividade fotossintética com a redução da fonte de carboidrato se constituiu em fator limitante do crescimento radicular. Nas áreas sujeitas à seca, deve-se aplicar o nitrogênio sob a forma mineral para superar eventuais reduções na fixação simbiótica do N sempre que o conteúdo de água no solo atingir valores críticos. No presente trabalho, a adubação nitrogenada de base foi dimensionada visando excluir esse fator limitante.

#### 4.14 - Variações nos Índices de Colheita

Os valores dos índices de colheita para as quatro cultivares estudadas estão expressos na TABELA 23 e FIGURA 21. A análise estatística com base no teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, demonstrou que não houve diferenças significativas entre as cultivares ou entre os tratamentos. A falta de significância indica que, na ocorrência de deficiência hídrica no solo, se estabeleceu um equilíbrio entre a redução do crescimento vegetativo (área foliar e peso seco da parte aérea) e das estruturas reprodutivas (número de flores formadas e vagens constituídas). No entanto,

TABELA 23 - Valores dos índices de colheita de quatro cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes tratamentos de disponibilização hídrica.

TRATAMENTOS	C u l t i v a r e s				
	BR - 1	PITIÚBA	MINOSO	ÉPACE - 1	MÉDIA
T 1	0.31	0.35	0.24	0.31	0.31
T 2	0.37	0.33	0.24	0.27	0.30
T 3	0.32	0.33	0.25	0.25	0.29
T 4	0.31	0.32	0.28	0.29	0.30
T 5	0.29	0.29	0.28	0.26	0.28
MÉDIA	0.32	0.33	0.26	0.28	

A ausência de letras indica que não houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

INDICES DE COLHEITA

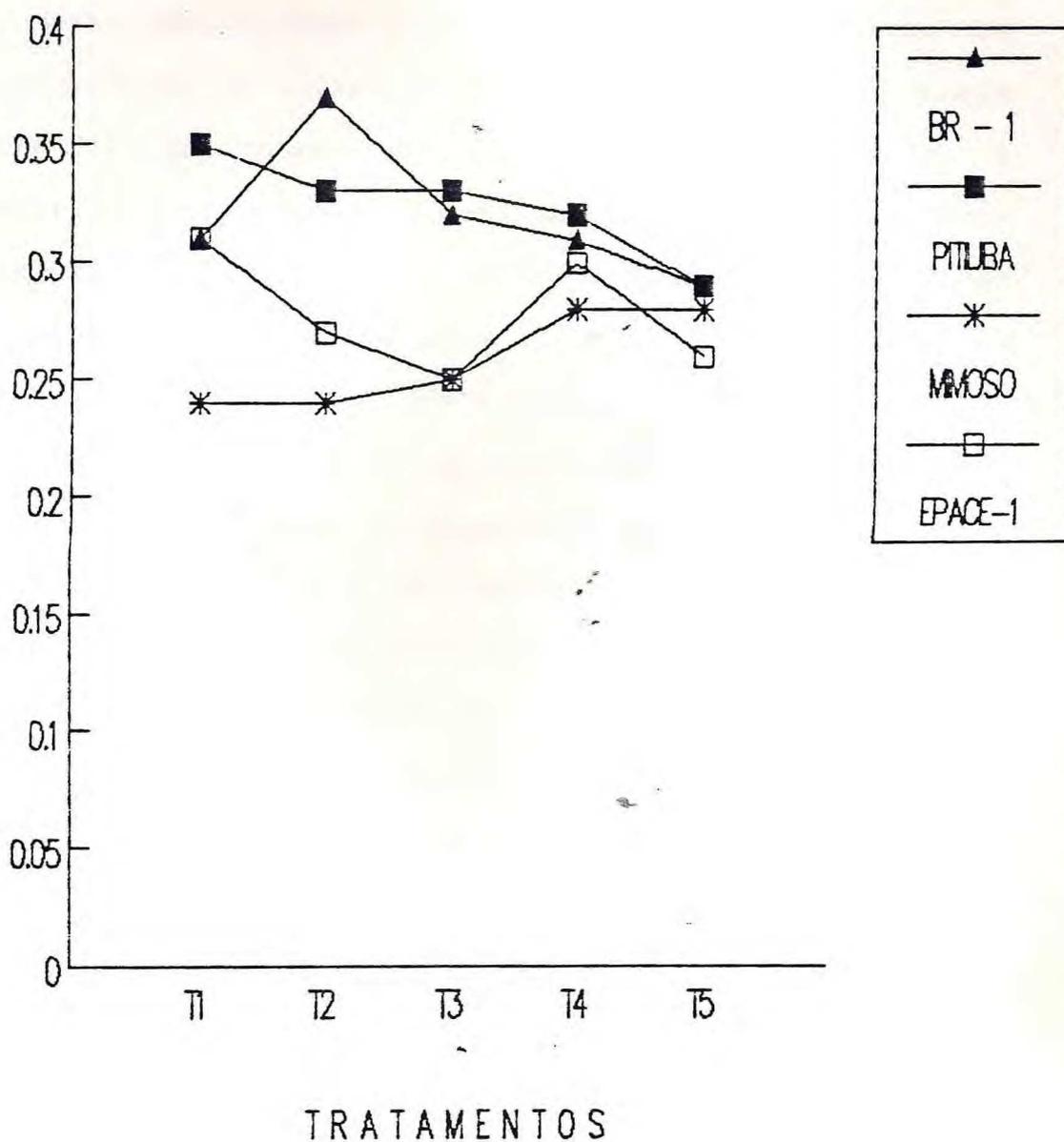


FIGURA 21 - Variações dos índices de colheita de quatro cultivares de caupi submetidas a diferentes tratamentos de disponibilidade hídrica.

como já observado na produção total de grãos, a cultivar Mimoso, mesmo nos tratamentos mais hidratados apresentou os menores valores de índice de colheita em relação às demais (FIGURA 21). Nas outras três cultivares (BR-1, Pitiúba e Epace-1), o tratamento mais estressado ( $T_5$ ) sempre apresentou valores de índices de colheita mais baixos em relação aos tratamentos mais hidratados ( $T_1$  e  $T_2$ ). Essas observações indicam que as plantas, quando estressadas, têm suas estruturas reprodutivas levemente mais afetadas do que as vegetativas. Um aumento no grau de severidade do estresse hídrico, possivelmente, levaria ao estabelecimento de diferenças significativas no índice de colheita.

O índice de colheita relaciona a produção econômica com a produção biológica. No entanto, esse índice não dá nenhuma informação sobre as modificações relativas dos diversos componentes de produção (nº de vagens formadas, tamanho das vagens, nº de grãos e peso de 100 grãos). Segundo KANEMASU (1983) o estresse hídrico reduz o índice de colheita. SLABBERS et al. (1979) após determinações de valores da produção econômica e biológica elaborou equações de regressão para o sorgo e o milho. No entanto, estudos posteriores indicaram que a ocorrência de estresse hídrico em fases críticas deve ser considerado nas correções das equações.

Segundo KANEMASU (1983) as variações no índice de colheita refletem os efeitos de: a) estresse hídrico em diferentes fases do ciclo vital; b) dos fatores ambientais sobre a partição dos fotoassimilados; c) alterações induzidas

na transcolação e desenvolvimento das plantas. Como avaliações da eficiência de uso de água baseadas, simultaneamente, nas medições da fotossíntese e transpiração são difíceis e têm limitado o número de cultivares avaliados, o índice de colheita tem se constituído em parâmetro válido e de fácil mensuração. O índice de colheita, em culturas com crescimento determinado, tem sido fortemente associado com o aumento na produção de grãos. A seleção de cultivares de caupi, com crescimento determinado, pode ser feita tendo o índice de colheita como parâmetro para aumento da produtividade de grãos (HALL & GRANTZ, 1981). No entanto, a criação de novas cultivares de caupi só pode ser obtida se houver um conhecimento adequado dos processos fisiológicos e bioquímicos que definem a adaptação das cultivares à seca. A partir desse conhecimento, seriam definidos parâmetros para uma seleção genética racional e a geração de novas tecnologias de manejo da cultura do caupi no semi-árido.

## 5 - CONCLUSÕES

- 1 - Níveis crescentes de carência de água no solo não induziram reduções significativas nos valores de potencial hídrico foliar, das quatro cultivares, medidos ao longo do ciclo da cultura. Os valores de potencial hídrico determinados, cedo pela manhã, permaneceram sempre acima de -1,4 MPa.
  
- 2 - As cultivares de caupi apresentaram eficientes mecanismos de esquiva à seca ("drought avoidance") principalmente pelo controle de perda de água. Houve redução significativa da área foliar e do peso total da parte aérea foliar e do peso seco total da parte aérea aos 40 DAG, sendo de  $T_5$  em relação a  $T_1$  de 67,0% e 76,9%, respectivamente. Esses mecanismos de adaptação à seca tornaram as plantas limitadas em fontes de carboidratos.
  
- 3 - A deficiência de água no solo causou efeitos deletérios nos tecidos foliares expressos pelas reduções marcantes nos níveis das proteínas, clorofila e lipídios totais. As reduções desses últimos, predominantemente presentes nas membranas, indicaram perda da compartimentalização celular.

- 4 - Componentes de produção como comprimento de vagens, número de grãos por vagem e peso de 100 grãos não foram significativamente modificados pelo estresse hídrico no solo. Reduções na produção das cultivares foram causadas, principalmente, pelo decréscimo no número de vagens por planta, tornando-as limitadas em termos de estruturas reprodutivas. Essa redução pode ser vista como um mecanismo adaptativo para permitir a formação de sementes viáveis, mesmo quando há severas limitações nas fontes de carboidratos.
  
- 5 - Os níveis mais altos de produção de grãos/ha não foram obtidos no controle ( $T_1$ ) mas em  $T_2$ . A manutenção do solo em  $T_1$ , sempre próximo à capacidade de campo, pode ter concorrido para diminuir a pressão parcial do oxigênio afetando o metabolismo do sistema radicular. Decréscimos subsequentes, nos níveis de disponibilidade hídrica no solo, induziram significativamente reduções na produção de grãos/ha.
  
- 6 - Os maiores valores de eficiência de uso de água (EUA) foram também obtidos em  $T_2$  (5,4 kg/ha/mm). Os tratamentos  $T_1$ ,  $T_3$  e  $T_4$  não diferiram em EUA, sendo o menor valor observado em  $T_5$  (3,9 kg/ha/mm).

7 - Não houve diferenças significativas entre as cultivares ou entre tratamentos, com relação ao índice de colheita. A falta de significância indica que, na ocorrência de deficiência hídrica no solo, se estabeleceu um equilíbrio entre a redução do crescimento vegetativo (área foliar) e das estruturas reprodutivas (número de vagens constituídas/planta).

8 - A criação de novas cultivares de caupi para o semi-árido e o manejo da cultura irrigada devem se fundamentar no conhecimento de parâmetros fisiológicos e bioquímicos associados aos mecanismos de tolerância à seca. Deve-se considerar que, a manutenção dos tecidos foliares com elevados valores de potencial hídrico, não se faz sem efeitos deletérios na estrutura das macromoléculas e das organelas celulares. A limitação dos drenos reprodutivos pela redução do número de vagens/planta se constituiu, para as quatro cultivares estudadas, o fator mais crítico na redução da produção de grãos sob condições de estresse hídrico.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, R.S., FISCUS, E.L. & NAYLOR, A.W. The effects of water stress on the development of the photosynthetic apparatus in greening leaves. *Plant Physiol.* 55:317-321, 1975.
- ALLEN, C.F. & GOOD, P. Acyl lipid in photosynthetic systems. *Methods in Enzymology.* 23:523-547, 1971.
- ARNON, I. Physiological principals of dryland crop production. IN: GUPTA, U.S. *Physiological aspects of dryland farming.* Oxford Press, New Delhi. 3-145. 1975.
- BARLOW, E.W.R., CHING, T.M. & BOERSMA, L. Leaf growth in relation to ATP levels in water stressed corn plants. *Crop Sci.* 16:405-407, 1976.
- BARNES, D.K. Managing root systems for efficient water use: breeding plants for efficient water use. IN: TAYLOR, H. M., JORDAN, W.R. & SINCLAIR, T.R. *Limitations to efficient water use in crop production.* Madison, American Society of Agronomy. 127-136. 1983.
- BEARDSELL, M.F., and COHEN, D. Relationship between leaf water status, abscisic acid levels and stomatal resistance in maize and sorghum. *Plant Physiol.* 56, 207-212. 1975.
- BEN-ZIONI, A., ITAI, C. & VAADIA, V. Water and salt stresses, kinetin and protein synthesis in leaves. *Plant Phyfiol.* 42:361-365, 1967.

- BHARDWAJA, R. & SINGHAL, G.S. Effects of water stresses on photochemical activity of chloroplasts during greening of etiolated barley seedlings. *Plant & Cell Physiol.* 22:155-162, 1981.
- BRITTINGHAM, W.H. The inheritance of date of pod maturity, pod length, seed shape, and seed size in the southern pea, Vigna sinensis. *Proceeding of the American Society of Horticultural Science* 56:381-388. 1950.
- COELHO, N.A. Características de umidade de alguns solos aluviais: Normais, sódicos e sódicos-salinos. Rio de Janeiro. 113p. 1971. (Dissertação de M.S.).
- COWAN, I.R. Stomatal behaviour and environment. *Adv. Bot. Res.* 4:117-228. 1977.
- DE PAULA, F.M., FERREIRA, L.G.R. & ROUALT, O.F.C. Alterações bioquímicas e fisiológicas em dois cultivares de algodão (Gossypium hirsutum L.) submetidas ao estresse hídrico. *Revta. Brasil. Bot.* 12:1-9. 1989.
- DIXON, H.H. *Transpiration and the Sap in Plants.* McMillan, Londres, 1914.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Manual de métodos de análise de solo. Parte I. Análise física. Rio de Janeiro, SNLCS. 1979.
- FARIA, F.H.S. Influência de regime de irrigação e níveis de adubação nitrogenada no crescimento e produtividade do algodão herbáceo (Gossypium hirsutum R. Latifolium Hutch). Fortaleza, UFC, 140p. 1990. (Dissertação de M.S.).

- FERRARI-ILIOU, R., PHAM THI, A. & VIEIRA DA SILVA, J. Effects of water stress on the lipid and fatty acid composition of cotton (Gossypium hirsutum L.) chloroplasts. *Physiol. Plant.* 62:219-224, 1984.
- FERREIRA, L.G.R., DE SOUZA, F. & PRISCO, J.T. Effects of water deficit on proline accumulation and growth of two cotton genotypes of different drought resistance. *Z. Pflanzenphysiol. Bd. S.* 189-199, 1979.
- FERY, R.L. The genetics of cowpeas: A review of the world literature. IN: SINGH, S R. & RACHIE, K. O. Cowpea research, production and utilization. John Wiley & Sons. New York. 25-26. 1985.
- FISCHER, R.A. & TURNER, N.C. Plant productivity in the arid and semi-arid zones. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 29:277-317. 1978.
- GAFF, D.F. Desiccation tolerant flowering plants in southern Africa. *Science.* 174:1033-1034. 1971.
- GOMEZ, K.A. & GOMEZ, A.A. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons, New York. 1984.
- HALL, A.E. Adaptation of annual plants to drought in relation to improvements in cultivars. *HortScience* 16:37-38. 1981.
- HALL, A.E. & GRANTZ, D.A. Drought resistance of cowpea improved by selecting for early appearance of mature pods. *Crop. Science* 21:461-464. 1981.

- HALL, A.E. & PATEL, P.N. Breeding for resistance to drought and heat IN: SINGH, S.R. & RACHIE, K.O. Cowpea research, production and utilization. John Wiley & Sons. New York. 137-151. 1985.
- HANKS, R.J., KELLER, J., RASMUSSEN, V.P. & WILSON, G.D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation - Crop production studies. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 40:126-429. 1976.
- HILER, E.A., VAN BAVEL, H.M., HOSSAIN, M.M., JORDAN, W.R. Sensitivity of southern peas to plant water deficit at three growth stages. Agron. J. 64:60-64. 1972.
- HIRON, R.W.P., and WRIGHT, S.T.C. The role of endogenous abscisic acid in the response of plants to stress. J. Exp. Bot. 24:769-781. 1973.
- HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. Annu. Rev. Plant Physiol. 24:519-570. 1973.
- JONES, M.M., TURNER, N.C. & OSMOND, C.B. Mechanisms of drought resistance. IN: PALES, L.G. & ASPINALL, D. The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press. New York. 15-37. 1981.
- KANEMASU, E.T. Yield and water - use relationships: some problems on relating grain yield to transpiration. ON: TAYLOR, H.M., JORDAN, W.R. & SINCLAIR, T.R. Limitations to efficient water use in crop production. American Society of Agronomy. Madison. 413-417. 1983.
- KATZ, R.W. & GLANTZ, M.H. Rainfall statistic, droughts and desertification. Westview Press. Boulder. 81-102. 1977.

- KRAMER, P.J. Water relation in plants. Academic Press. New York. 489p., 1983.
- LEVITT, J. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press. New York. 1972.
- LIGON, L.L. Characteristics of cowpea varieties (Vigna sinensis). Okla. Agric. Exp. Stn. Bull. B-518. 1958.
- LOWRY, O.H., RESEBROUGH, N.T., FARRAL, A.L. & RANDALL, R.J. Protein measurements with folin reagents. J. Biol. Chem. 193:265-275. 1975.
- MCKINEY, G. Absorption of light chlorophyll solution. J. Biol. Chem. 140:315-322. 1941.
- MAGALHÃES, A.A., MILLAR, A.A., e CHOUDHURY, E.N. Efeito de deficit fenológico de água sobre a produção de feijão. Turrial, 29(4):269-273. 1979.
- MAY, L.H. & MILTHORPE, F.L. Drought resistance of crop plants. Field Crop. Abstr. 15:171-179. 1962.
- MELO, A.T. de. Avaliação do comportamento de duas cultivares de caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp) BR-1 e Epace-1 submetidas ao estresse hídrico e reidratação. Fortaleza, UFC, 98p. 1989. (Dissertação de M.S.).
- MINCHIN, F.R., SUMMERFIELD, R.J., EAGLESHAM, A. R. J. & STEWART, K.A. Effects of short term waterlogging on growth and yield of cowpea (Vigna unguiculata). J. Agri. Sci. 90:335-336. 1978.

O'TOOLE, J. C. & CHANG, T. T. Drought resistance in cereals: rice a case study. IN: MUSSEL, H. & STAPLES, R. C. Stress physiology in crop plants. Wiley-Interscience, New York. 373-405. 1979.

PASSIOURA, J. B. The role of root system characteristic in the drought resistance of crop plants. IN: IRRI. Drought resistance in crops with emphasis on rice, Los Baños. Filipinas. IRRI. 71-82. 1982.

PATE, J. S., PEOPLES, M. B. & ATKINS, C. A. Post anthesis economy of carbon in a cultivar of cowpea. J. Exp. Bot. 34:544-562. 1983.

PHOGAT, B. S., SINGH, D. P. & SINGH, P. Responses of cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp) and mung bean (Vigna radiata (L.) Wilczek) to irrigation. I. Effects on soil-plant relations, evapotranspiration, yield and water use efficiency. Sci. 5:47-60. 1984a.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Responses of cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp) and mung bean (Vigna radiata (L.) Wilczek) to irrigation. II. Effects on CO<sub>2</sub> exchange, radiation characteristics Irrig. Sci. 5:61-72. 1984b.

- PORTO FILHO, F.Q. Alterações fisiológicas e de produção do caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp) cultivado em solo aluvial sódico e irrigado com diferentes lâminas de água. Fortaleza, UFC, 75p. 1986.
- SACHS, R.M., KRETSCHEUM, T. & MOCK, T. Minimum irrigation requirements for landscape plants. J. Am. Hort. Sci. 100:499-502, 1975.
- SCHOLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., HEMMINGSEN, E.A. & BRADSTREET, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangrove and some other plants. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 52:119-125, 1964.
- SCHOLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., HEMMINGSEN, E.A. & BRADSTREET, E.D. Sap pressure in vascular plants. Science. 148:339-346, 1965.
- SCHRAVENDIJK, H.W. & ANDEL, O.M. Interdependence of growth, water relations and abscisic acid level in Phaseolus vulgaris during waterlogging. Physiol. Plant. 63:215-220. 1985.
- SCOTT RUSSELL, R. Plant root systems: Their function and interaction with the soil - McGraw-Hill Book Company (UK) Ltd, London. pp. 193-218. 1977.
- SHAH, C.B. & LOOMIS, R.S. Ribonucleic acid and protein metabolism in sugar beet during drought. Plant. Physiol. 18:240-254, 1965.

- SILVA, J.J.M. Interações entre lâminas de água e densidade populacional de cultivares eretas e decumbentes de caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp). Fortaleza, UFC. 82p. 1990. (Dissertação de M.S.).
- SLABBERS, P.J., SORBELLO HERENDORF, V. & STOPPER, M. Evaluation of simplified watercrop yield models. *Agric. Water Manage.* 2:95-129. 1979.
- STOCKER, O. Contribution to the problem of drought resistance of plants. *Indian J. Plant Physiol.* 4:87-102. 1961.
- SUMMERFIELD, R.J., HUXLEY, P.A. & STEELE, W. Cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp). *Field Crop. Abstr.* 27:301-312. 1974.
- SUMMERFIELD, R.J., PATE, J.S., ROBERTS, E.H. & WIEN, H.C. The physiology of cowpea. IN: SING, S.R. & RACHIE, K.O. Cowpea research, production and utilization. John Wiley & Sons. New York. 65-101. 1985.
- SWINDALE, L.D. & BIDINGER, F.R. Introduction: The human consequences of drought and crop research priorities for their alleviation. IN: PALEG, L.G. & ASPINAL, D. The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press. New York. 1-13. 1981.
- TURK, K.J. & HALL, A.E. Drought adaptation of cowpea. I. Influence of drought on seed yield. *Agron. J.* 72:413-420. 1980.
- TURK, K.J. & HALL, A.E. Drought adaptation of cowpea. II. Influence of drought on plant yield. *Agron. J.* 72:421-427. 1980a.
- \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Drought adaptation of cowpea. III. Influence of drought on plant growth and relation with seed yield. *Agron. J.* 72:428-433. 1980b.

- \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Drought adaptation of cowpea. IV. Influence of drought on water use, and relations with growth and seed yield. Agron. J. 72:434-439. 1980c.
- TURNER, N.C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. IN: MUSSEL, H. & STAPLES, R.C. Stress physiology in crop plants. Wiley-Interscience. New York. 343-372. 1979.
- UHLAND, R.E. Physical properties of soils as modified by crops and management. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14:361-366. 1949.
- VIEIRA DA SILVA, J., NAYLOR, A.W. & KRAMER, P.J. Some ultrastructured and enzymatic effects of water stress in cotton (Gossypium hirsutum L.) leaves. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 71:3243-3247. 1974.
- WIEN, H.C., LAL, R. & PULVER, E.L. Effects of transient flooding on growth and yield of some tropical crops. IN: LAL, R. & GREENLAND, D.J. Soil physical properties and crop production in the tropics. Wiley Interscience, New York. 235-245. 1979a.
- WIEN, H.C., LITTLETON, E.J. & AYANABA, A. Drought stress of cowpea and soybean under tropical conditions. IN: MUSSEL, H. & STAPLES, R.C. Stress physiology in crop plants. Wiley Interscience, New York. 283-301. 1979b.
- WRIGHT, S.T.C. The relationship between leaf water potential and the levels of abscisic acid and ethylene in excised wheat leaves. Planta 134, 183-189. 1977.