

INFLUÊNCIA DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA DO SOLO NOS
PARÂMETROS VEGETATIVOS E PRODUTIVOS DA BERINJELA
(*Solanum melongena* L.)

ANA RITA RODRIGUES VIEIRA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

Tese apresentada à Escola
Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título
de Doutor em Agronomia,
Área de Concentração:
Irrigação e Drenagem.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Outubro - 1994

V658i Vieira, Ana Rita Rodrigues
Influência da deficiência hídrica do
solo nos parâmetros vegetativos e produ-
tivos da berinjela : Solanum melongena L.
/ Ana Rita Rodrigues Vieira. - 1994.
134f. : il.

Tese (doutorado) - Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz".

Inclui bibliografia.

1. Deficiência hídrica-Teses. 2. Berinjela-
Irrigação-Teses. 3. Solos-Deficiência hídri-
ca-Teses. I. Escola Superior do Agricultura
"Luiz de Queiroz". II. Título.

CDU. 626.81/.84

INFLUÊNCIA DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA DO SOLO NOS
PARÂMETROS VEGETATIVOS E PRODUTIVOS DA BERINJELA
(*Solanum melongena L.*).

ANA RITA RODRIGUES VIEIRA

Aprovado em : 29.12.1994

Comissão julgadora :

Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci	ESALQ/USP
Prof. Dr. Marcos Vinicius Folegatti	ESALQ/USP
Prof. Dr. João Tessarioli Neto	ESALQ/USP
Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira	UNICAMP
Prof. Dr. Marcelo Bento Paes de Camargo	IAC



Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci
Orientador

A minha mãe

Aos meus filhos Julia e Vitor

Aos meus sobrinhos Rodrigo e Paola

Ofereço

A meu pai e meu irmão (in memorium)
por me ensinarem a valorização do
conhecimento.

Dedico

AGRADECIMENTOS

- À Deus por essa força infinita que me permitiu a realização dessa tarefa;
- À Universidade Federal de Santa Catarina, através do Departamento de Fitotecnia, pela possibilidade de realização do curso e apoio financeiro dispensado para a parte experimental através do FUNPESQUISA;
- À ESALQ, através do Departamento de Engenharia Rural, bem como aos demais funcionários, pela acolhida amiga durante todo o curso;
- À CAPES-PICD pela cessão do apoio financeiro;
- À Empresa Tubos e Conexões Tigre S.A. pela cessão do sistema de irrigação;
- Aos Departamentos de Horticultura, de Física e Meteorologia e respectivos funcionários e, em especial, ao funcionário Aparecido Serrano, pelo apoio na realização da parte experimental;
- Ao professor orientador Dr. Luiz Roberto Angelocci, pela amizade, apoio e oportunidade de participação de suas idéias e conhecimentos através de sua valiosa orientação;
- Aos professores Keigo Minami, Antônio Fernando L. Olitta, Valter Barbieri, Tarlei A. Botrel, José A. Frizzone, Durval Dourado Neto, Paulo L. Libardi, Nilson Vila Nova, Décio Barbin e Sônia Piedade pelas sugestões e apoio cedidos na realização do experimento e tratamento dos dados;
- Aos colegas Sergio, Maria Vilma, Adunias, Antonio Augusto, Vital e Luiz Alberto pela amizade e auxílio prestados durante o curso;
- Aos amigos Paulo, Natália, Evanilda, Carlos, Bernadete e tia Yolanda pelo apoio e amizade prestados;
- À bibliotecária Eliana M. G. Sabino pela revisão das referências bibliográficas;
- Ao Ilson Silva de Orleans e Alcionei João Vieira pelo apoio na confecção desse trabalho;
- Aos demais professores, colegas e pessoas que contribuíram para que este estudo se concretizasse.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xii
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. A cultura da berinjela	5
2.2. Efeitos da disponibilidade hídrica.....	9
2.2.1. Aspectos de irrigação	9
2.2.2. Efeitos sobre o crescimento	10
2.2.3. Aspectos fisiológicos	12
2.2.4. Efeitos sobre a produção e qualidade do fruto	16
2.3. Função de produção em resposta à água	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1. Local	39
3.1.1. Características físico-hídricas e qui- micas do solo	39
3.2. Clima	42
3.3. Coberturas móveis	43
3.4. Cultura e tratos culturais	48
3.5. Delineamento experimental	49
3.6. Irrigação	52
3.6.1. Sistema de irrigação	52

3.6.2. Critério de irrigação	54
3.7. Cálculo da evapotranspiração	57
3.8. Tratamentos efetivamente impostos	60
3.9. Caracterização do nível de estresse hídrico .	63
3.10. Relações quantitativas entre produção e dis- ponibilidade hídrica no solo	65
3.11. Determinação da produção e parâmetros de crescimento e desenvolvimento	66
3.11.1. Produção de frutos	66
3.11.2. Número de folhas	68
3.11.3. Comprimento de plantas	68
3.11.4. Número de flores	69
3.11.5. Número de frutos	69
3.11.6. Relações entre crescimento, desenvol- vimento e disponibilidade hídrica ...	70
3.11.7. Densidade de raízes	70
3.12. Elementos climáticos	72
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1. Caracterização das condições hídricas do solo	73
4.2. Relações quantitativas entre produção e dis- ponibilidade hídrica no solo	92
4.3. Relações entre produção, desenvolvimento e crescimento	106
4.4. Aspectos metodológicos	120
5. CONCLUSÕES	124
SUGESTÕES	126

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 128

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Página
1 - Dimensões e detalhes da cobertura móvel 1	45
2 - Dimensões e detalhes da cobertura móvel 2	46
3 - Cobertura móvel 1 e 2	47
4 - Esquema dos tratamentos adotados	50
5 - Esquema geral das parcelas e tratamentos na área (exemplificado para o período vegetativo)	51
6 - Esquema geral do sistema de irrigação	53
7 - Classificação dos frutos por grupos de acordo com a qualidade	67
8 - Evolução da relação AD/CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas sem estresse hídrica	74-75-76
9 - Evolução da relação AD/CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no período vegetativo	76-77
10 - Evolução da relação AD/CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no início da frutificação	77-78-79
11 - Evolução da relação AD/CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa na formação de frutos e colheita	79-80
12 - Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas sem estresse hídrico	80-81-82

FIGURAS	Página
13 - Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no período vegetativo	83-84
14 - Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no período de início da frutificação	84-85
15 - Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa na formação de frutos e colheita ...	86-87
16 - Relação entre o déficit de produção e de evapotranspiração relativa no período vegetativo	92
17 - Relação entre o déficit de produção e de evapotranspiração relativa no período de início de frutificação	94
18 - Relação entre o déficit de produção e de evapotranspiração relativa no período de formação de frutos e colheita	95
19 - Relação entre evapotranspiração real e produção, ao longo do ciclo, nos diferentes grupos de parcelas	97-98
20 - Relação entre produção relativa e índice de estresse hídrico no solo para o ciclo da cultura	100

FIGURAS	Página
21 - Evolução da temperatura e umidade relativa do ar durante o ciclo da cultura	104
22 - Duração do ciclo da cultura, por períodos fenológicos, para os diferentes grupamentos de parcelas.....	107-108
23 - Comprimento médio das plantas medido ao longo do ciclo, nos diferentes grupos de parcelas	111
24 - Número médio de folhas por planta medido ao longo do ciclo, nos diferentes grupos de parcelas .	112
25 - Relação quantitativa entre número de folhas e produção quando o déficit ocorreu no período vegetativo	114
26 - Relação quantitativa entre déficit de evapotranspiração relativa, no período vegetativo, e número de folhas	115
27 - Número médio de frutos por planta medido durante o ciclo da cultura	116
28 - Número médio de flores por planta, medido durante o ciclo da cultura	117

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
1 - Análise granulométrica e densidade de partículas para a camada de 0 a 30cm de profundidade do solo	40
2 - Densidade global do solo (g/cm^3) determinada para diferentes parcelas, nas profundidades de 15 e 30 cm, no dia 04/05/1992	40
3 - Parâmetros da equação de Van Genutchen para a curva característica média de umidade do solo na camada de 0-15cm de profundidade	41
4 - Parâmetros da equação de Van Genutchen para a curva característica média de umidade do solo na camada de 15-30cm de profundidade	41
5 - Dados, em mm, de evaporação do tanque classe A (ECA) do Posto Meteorológico e daquele tanque colocado sob as coberturas durante o ciclo da cultura	44
6- Produção (Kg/ha) para estresses ocorridos nas diferentes parcelas	102
7 - Peso médio de frutos (g) para estresses ocorridos nas diferentes parcelas	105
8 - Classificação dos frutos obtidos em termos percentuais (%), nas parcelas com e sem estresse	119

LISTA DE SÍMBOLOS

$K_y = \beta_0$	- coeficiente de sensibilidade da cultura ao estresse hídrico;
E_{ta}	- evapotranspiração real (mm);
E_{tm}	- evapotranspiração máxima (mm);
$E_{Td} = E_{ta}/E_{tm}$	- evapotranspiração relativa;
ET	- evapotranspiração (mm);
ETP	- evapotranspiração potencial (mm);
E_{t_0}	- evapotranspiração de referência (mm);
E_0	- evaporação de água livre (mm);
E_{CA}	- evaporação do tanque classe A (mm);
DEV_{REL}	- déficit de evapotranspiração relativa;
p	- fração de água disponível;
AD	- água disponível (mm);
CAD	- capacidade de água disponível (mm);
N	- número de dias;
Z_0	- profundidade efetiva do sistema radicular (cm);
T	- tempo em dias;
$I.E.H.$	- índice de estresse hídrico no solo;
t	- transpiração;
$Y = Y_a$	- produção real da cultura (Kg/ha);
Y_m	- produção máxima da cultura (Kg/ha);
Y_a/Y_m	- produção relativa;
W	- proporção de água ministrada;
G	- crescimento;
ϕ	- potencial matricial (MPa);

- K_c - coeficiente de cultura;
- K_p - coeficiente do tanque de evaporação classe A;
- θ_{cc} - umidade do solo na capacidade de campo (cm^3/cm^3);
- θ_{pmp} - umidade do solo no ponto de murcha permanente (cm^3/cm^3);
- m, n - fatores dependentes da cultura.

INFLUÊNCIA DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA DO SOLO NOS
PARÂMETROS VEGETATIVOS E PRODUTIVOS DA BERINJELA
(*Solanum melongena* L.).

Autora: ANA RITA RODRIGUES VIEIRA

Orientador: PROF.DR. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo principal estimar o fator *Ky* para a cultura da berinjela, cultivar embú, na região de Piracicaba-SP, no ano de 1992, em uma só época de plantio (janeiro). Conjuntamente, procurou-se fazer as caracterizações morfológicas e fisiológicas da cultura, discutindo a metodologia utilizada.

Para a determinação de *Ky* foi empregada a função que relaciona o déficit de produção relativa com o déficit de evapotranspiração relativa (Stewart¹, citado por HANKS e HILL, 1980), segundo metodologia e delineamento proposto por DOORENBOS e KASSAM (1979), no qual foram impostas deficiências hídricas em quatro períodos fenológicos

¹STEWART, J.I., HAGAN, R.M., PRUITT, W.O., HANKS, R.J., RILEY, J.P., DANIELSON, R.E., FRANKLIN, W.T., and JACKSON, E.B. Optimizing crop production through control of water and salinity levels, Utah Water Res. Lab. PRWG 151-1, Sepr, (1977).

impostas deficiências hídricas em quatro períodos fenológicos a saber: vegetativo, abertura de gema floral, início de frutificação e formação de frutos e colheita, o que envolveu a imposição de deficiências em um, dois e três períodos, de forma combinada sendo um tratamento testemunha (sem estresse hídrico) e um tratamento com estresse hídrico contínuo ao longo do ciclo, para dois níveis de água. Nos tratamentos sem estresse, esses níveis eram registrados quando os respectivos tensiômetros, a 15cm de profundidade do solo, atingiam a tensão máxima de cerca de **-0,01 MPa** e, para aqueles tratamentos com estresse, quando a evapotranspiração real (**E_{ta}**) média do período de estresse hídrico fosse igual a aproximadamente 50% da evapotranspiração máxima (**E_{tm}**) média do mesmo período.

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento.

Além disso, criou-se outro índice de estresse, **IEH = [(1 - p) - \bar{AD} / CAD] . N**, onde **(1-p)** é a fração de água no solo não prontamente disponível e **AD/CAD** é a relação média entre água disponível e capacidade de água disponível durante um certo período, válido para a condição **1 - p > \bar{AD} / CAD**, adotando o déficit de evapotranspiração relativa (**DEV_{REL} = 1 - E_{ta} / E_{tm}**) na avaliação do grau de estresse. Verificou-se possíveis relações entre esses índices e produção, bem como com os diversos parâmetros de crescimento.

Os resultados produzidos mostraram que: 1) os valores de **K_y** obtidos permitiram quantificar a sensibilidade

da cultura ao estresse hídrico, sendo os períodos de abertura de gema floral e início de frutificação os mais sensíveis, conforme menciona a literatura; 2) a imposição do estresse hídrico leve a moderado, nos diferentes períodos fenológicos não teve influência na duração do ciclo da cultura; 3) o parâmetro número de folhas é que melhor se relacionou com a produção e também com os índices de estresses hídricos estudados; 4) o critério de irrigação através da estimativa da evapotranspiração real da cultura como foi proposto por DOORENBOS e KASSAM (1979) não se mostrou satisfatório por não permitir a adoção de lâminas e frequências de irrigação uniformes nos diferentes períodos fenológicos, tornando os níveis de estresse hídrico não comparáveis entre as diversas parcelas.

SOIL WATER DEFICIENCY INFLUENCE IN THE
VEGETATIVE AND PRODUCTIVE PARAMETERS OF EGGPLANT
(*Solanum melongena* L.).

Author: ANA RITA RODRIGUES VIEIRA

Adviser: PROF. DR. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI

SUMMARY

The main objective of this study was to identify the **Ky** coefficient for the production of eggplant variety 'embu' planted January 1992 at Piracicaba, São Paulo. Corresponding morphological and physiological stages were identified for growth and development of the crop.

The **Ky** coefficient was determined by means of a function that related relative production deficit with relative evapotranspiration deficit (Stewart¹ cited by HANKS and HILL, 1980) according to the methodology and design proposed by DOORENBOS and KASSAM (1979), with water stress were imposed during four phenological stages: vegetative, flower initiation, fruit initiation, and fruit formation/harvest. Combinations of stress during none, one,

¹STEWART, J.I., HAGAN, R.M., PRUITT, W.O., HANKS, R.P., DANIELSON, R.E., FRANKLIN, W.T., and JACKSON, E.B.. Optimizing crop production through control of water and salinity levels. *Utah Water Res. Lab.* PRWG 151-1, Sept, (1977).

two, three, or all stages along cropping season were applied factorially with two level of water. Tensiometers placed at 15 cm depth were used to control soil water tension in non-stressed treatments, which were irrigated when tension reached a maximum of -0.01 MPa. Stressed treatments were irrigated when actual evapotranspiration (E_{ta}) averaged 50% of maximum evapotranspiration (E_{tm}) for the same period.

The system utilized was drip irrigation.

Another stress index was devised, $IEH = [(1 - p) - \overline{AD} / CAD] \cdot N$, where $(1-p)$ is the non-available soil water fraction and AD/CAD is the average ratio between available water and available water storage, valid when $1 - p > \overline{AD} / CAD$ and relative evapotranspiration deficit ($DEV_{REL} = 1 - E_{ta} / E_{tm}$) was used to evaluate the degree (intensity) of stress. The relation between these indices and growth and yield parameters was investigated.

Results showed that: 1) crop water stress susceptibility can be quantified by the K_y coefficients, being flower initiation and fruit initiation the most sensitive periods, as reported in the literature; 2) light to moderate water stress in the different phenological stages had no influence on the cropping season length; 3) the number of leaves was the parameter best correlated with yield and the measured water stress indices; 4) the use of estimated E_{ta} as a criterion for irrigation frequency as proposed by DOORENBOS and KASSAM (1979) was unsatisfactory, because regular irrigation frequency and depth could not be adopted

in different phenological stages, making the levels of water stress not comparable between the different plots.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo da berinjela ocorre há mais de 1000 anos nos países Árabes e na China, onde constitui-se num dos vegetais mais expressivos (VIEIRA, 1973). A FAO (1993) mostra uma produção de 42688 Kg/ha para Israel, enquanto a China apresentou um total de 16257 kg/ha e a América do Sul 13061 kg/ha.

Nos últimos anos, na Europa e Estados Unidos, o seu cultivo vem se desenvolvendo muito, tendo em vista que ela é uma hortaliça muito nutritiva e saborosa.

De acordo com os dados do censo de 1985, a produção brasileira é de 25981 kg/ha, sendo os estados de São Paulo e Rio de Janeiro os dois maiores produtores (IBGE, 1985).

Para VIEIRA (1973), a maior limitação para o seu cultivo é a inadequada umidade no solo durante todo o seu ciclo, como ocorre com a maioria das hortaliças. No entanto, para SUN et al (1990) as causas da sua produção instável e baixa, na China, são as condições desfavoráveis de clima. Outros estudos desses autores com cultivares mostraram os efeitos dos fatores meteorológicos na percentagem de aparecimento de frutos no verão e outono, no

período de cinco dias após a floração, onde para o aumento de cada 1mm de altura pluviométrica a taxa de aparecimento de frutos diminuiu 0,83% bem como para um aumento de 1°C de temperatura máxima ocorreu um decréscimo de 5,89%.

GROPPO e TESSARIOLI NETO (1987) ressaltaram que a cultura necessita de temperaturas elevadas, ou seja, até 28°C, no seu estágio inicial de desenvolvimento, especialmente durante a fase de germinação das sementes, enquanto que durante as fases de frutificação e colheita há uma maior afinidade para temperaturas mais baixas (cerca de 22°C), para que o fruto tenha uma coloração uniforme e constante.

A literatura mostra ainda que a berinjela é conhecida por ter maior resistência à seca e ao frio do que outras hortaliças, especialmente quando comparada a outras solanáceas, decorrente em princípio, da melhor eficiência do seu sistema radicular. Porém, BEHBOUDIAN (1977a) discutiu que a relação com a resistência à seca é um pouco mais complexa em função da cultura manter um balanço de água mais favorável, ou seja, um maior conteúdo relativo de água para dados valores de potencial da água na folha, um controle estomatal mais eficiente e uma melhor regulação osmótica, somada a uma recuperação mais rápida do estado hídrico dependendo do estresse sofrido.

O seu desenvolvimento é assim mais afetado pelos fatores térmico e hídrico, mas a sua resposta à diminuição da disponibilidade hídrica no solo tem sido pouco estudada até o presente momento, bem como a caracterização

fenológica e morfológica da cultura.

Esses aspectos, associados àqueles de que a escassez e o preço da água têm gerado preocupações, justificam estudos com enfoque para as relações entre deficiência hídrica, crescimento e produção. Especialmente porque o valor do custo adicional ou marginal da água e o processo de uso da água (relações físicas e fisiológicas envolvidas) podem ser entendidos como o planejamento econômico da produção que a partir desses estudos podem ser bastante melhorados (LYNNE e CARRIKER, 1979).

Para tanto tem se implementado o uso da modelagem matemática, que são simples expressões organizadas do conhecimento sobre a interação dos fatores num dado sistema (HANKS e HILL, 1980).

A FAO tem se ocupado em reunir os trabalhos realizados no mundo nessa linha de pesquisa, bem como daquela sobre exigências hídricas das culturas. Os modelos estudados são de aplicação prática e requerem um conhecimento adequado da cultura (através da variedade estudada), níveis de manejo para um dado solo e clima, a fim de se delinear respostas genéticas das espécies em estudo (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

O modelo proposto por DOORENBOS e KASSAM (1979) é uma forma básica para racionalizar o manejo da água, uma vez que estabelece através de um fator de resposta à produção (K_y) uma relação quantitativa simples entre decréscimo de produção, expressa por $(1 - Y_a / Y_m)$, onde Y_a e Y_m são a produção real e a máxima obtidas, e o déficit relativo de

água, expresso por $(1 - E_{ta} / E_{tm})$ onde E_{ta} e E_{tm} são a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima, respectivamente.

Como as condições de produção durante o ciclo da cultura são específicas do local e variedades utilizadas, a FAO recomenda estudos regionalizados sobre tais relações, com teste dos fatores de resposta da produção ao déficit hídrico. Ressalta-se que a própria FAO não apresenta nenhuma informação a respeito da berinjela.

Diante disso este trabalho teve por objetivos:

- 1 - caracterizar a resposta fenológica e morfológica da cultura quando submetida a diferentes níveis de estresses hídricos, inclusive por períodos, e os efeitos observados na produção;
- 2 - estudar o fator de resposta à produção da berinjela em função da redução da disponibilidade hídrica no solo, pelo uso da função que relaciona o déficit de produção com o déficit de evapotranspiração relativa (Stewart¹, citado por HANKS e HILL, 1980) e o uso de índices de estresses hídricos aqui propostos;
- 3 - discutir os métodos utilizados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da berinjela

A berinjela (*Solanum melongena L.*) representa boa fonte de sais minerais e vitaminas, conforme pode ser constatado pela composição aproximada em elementos nutritivos contidos em 100g do produto: 28g de calorias; 1,2g de proteínas; 11mg de cálcio; 0,5mg de ferro; 60 unidades de vitaminas C (ácido ascórbico) e 0,03mg de riboflavina (BERNARDI, 1968).

Como propriedades medicinais apresenta-se como oxidante, remineralizante, alcalinizante e calmante. Possui ainda a propriedade de baixar o colesterol e reduzir a ação das gorduras sobre o fígado (PIMENTEL, 1985).

No planalto paulista, a época de plantio mais aconselhável é de setembro a dezembro porque a cultura é uma das mais exigentes em temperaturas elevadas e das mais sensíveis às baixas temperaturas (BERNARDI, 1968). O Instituto Agronômico de Campinas², no entanto, cita que essa época pode

²INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Instruções Agrícolas para o Estado de São Paulo. Campinas, 4^o ed., nº 200, 42-3p., 1987.

prolongar-se até fevereiro, podendo ocorrer plantios de março a julho na região litorânea.

BERNARDI (1968), PIMENTEL (1985) e SGANZERLA (1990) comentam que o período ideal para o transplante das mudas para o campo está situado entre trinta e cinco e quarenta e cinco dias após a germinação, que é quando as plantas apresentam, aproximadamente, doze a vinte e cinco cm de altura ou cinco a sete folhas definitivas, recomendando o espaçamento de 1,00 x 0,50m.

O espaçamento recomendado corresponde aquele normalmente utilizado variando entre cerca de 10.000 a 20.000 plantas/ha, de acordo com a cultivar a ser plantada, segundo BERNARDI (1965), MINAMI (1977) e os demais autores.

Com relação ao início da colheita este deve ocorrer cerca de 100 dias após a semeadura, durante dois a três meses conforme BERNARDI (1968), MAKISHIMA (1985) e PIMENTEL (1985). O ponto de colheita do fruto é determinado pelas suas dimensões, ou seja, cerca de 15cm de comprimento e 7cm de diâmetro (GROPPO e TESSARIOLI NETO, 1987).

Para BERNARDI (1968) e PIMENTEL (1985) a sua produção pode se situar entre 15 a 35 ton/ha ou 15 a 25 ton/ha segundo MURAYAMA (1992), isto em condições normais de plantio.

BERNARDI (1965) mencionou que o peso de cada fruto deve variar entre 150 e 250g, enquanto CORNILLON e DAUPLE (1981) encontraram valores entre 157 e 218g. Exceções foram encontradas para a variedade Flórida Market, cujo peso

médio foi 500g e, para a variedade japonesa Kumamoto que pesou 100g (PIMENTEL, 1985).

NOTHMANN et al (1979) comentaram a questão do posicionamento das flores e sua influência sobre o peso médio dos frutos, que parece ser mais afetado, no entanto, pelo crescimento radicular segundo DAUNAY e MALET (1986a).

Estudos realizados por NOTHMANN e RYLSKI (1983) sobre posicionamento e crescimento individual dos frutos mostraram, no entanto, que os frutos basais foram mais pesados do que os demais havendo um gradiente claro de diminuição de peso de acordo com a sequência de frutos no cacho, do primeiro ao terceiro fruto adicional, com um grau de significância de 5%.

NOTHMANN et al (1979) discutiram também a qualidade do fruto mostrando que pode ser encontrada variação na coloração e tamanho dos frutos com o crescimento, especialmente em cultivares com baixo conteúdo de antocianina, sendo a cor mais clara predominante nos frutos "adicionais", os quais são menos desenvolvidos do que os basais.

A berinjela tem preferência pelos solos de textura média, areno-argilosos, soltos, férteis e ricos em humus (matéria orgânica em exagero gera dificuldade de floração e frutificação), sendo moderadamente tolerante à acidez do solo, preferindo aqueles com **pH** entre 5,5 a 7,0 (PIMENTEL, 1985 e SGANZERLA, 1990).

LUCCHESI et al (1978) pesquisando o híbrido

F-100 em latossolo roxo, sob condições controladas, mostraram que o volume de solo disponível também é importante, influenciando o desenvolvimento da parte aérea, e, conseqüentemente, da fotossíntese da berinjela.

A temperatura ótima de desenvolvimento está situada entre 23 e 25°C, estando, durante o dia, entre 22 a 27°C e à noite, entre 17 a 22°C. Para a floração, a temperatura do ar deve estar entre 20 a 30°C (SGANZERLA, 1990).

Para MAKISHIMA (1983), essa faixa de temperatura ótima de desenvolvimento deve estar entre 18 a 25°C, o que é aproximadamente concordante com os valores mencionados por SGANZERLA (1990).

Fator aliado e dependente da temperatura do ar, a temperatura do solo, em experimentos sob condições controladas na fase inicial de desenvolvimento da cultura (32 a 50 dias), mostrou influência no crescimento das plantas através dos parâmetros número de folhas e número de dias do início do tratamento à abertura da primeira flor (RYLSKI et al, 1976).

Ressente-se muito com umidade do ar elevada, principalmente quando a temperatura do ar está fora da faixa ideal, podendo ser facilmente atingida por doenças fúngicas e ter problemas de frutificação. A umidade relativa do ar ótima está entre 50 a 65%. Conjuntamente com a umidade do ar, a luminosidade é um parâmetro importante para o seu desenvolvimento, tanto no período de floração quanto na

formação e desenvolvimento de frutos (SGANZERLA, 1990).

Estudos de SUN et al. (1990), mostraram que mudanças climáticas afetam significativamente o aparecimento de frutos, tendo como base o número de flores apresentadas. A relação entre altura pluviométrica, média da temperatura máxima e aparecimento dos frutos foi linear e seus efeitos foram aditivos, visto que exercem mecanismos de resposta diferentes, não tendo sido observada nenhuma interação entre esses parâmetros.

2.2. Efeitos da disponibilidade hídrica

2.2.1. Aspectos de irrigação

A irrigação é essencial à cultura, especialmente, em anos em que a chuva é escassa e mal distribuída (BERNARDI, 1968).

SGANZERLA (1990) comenta também que a irrigação não deve ocorrer logo no início do florescimento (período fenológico avaliado como abertura da gema floral ao início da frutificação), porém após a formação dos frutos não deve faltar água. Isto porque o autor se baseou no sistema de irrigação por aspersão, onde as flores são mais atingidas pelo fato da água ser aplicada sob altas vazões, em todo o dossel vegetativo, ao contrário do que ocorre no sistema de gotejamento. No entanto, o excesso hídrico também pode ser prejudicial, gerando um desenvolvimento exagerado das plantas

bem como dificuldade de floração e fecundação das poucas flores que aparecem, ou seja, frutificação, no que concorda com PIMENTEL (1985). Essa precaução deve ser mantida enquanto a berinjela não tiver dois ou três frutos. Portanto, tanto a falta quanto o excesso hídrico verificado após a irrigação pode gerar problemas para o bom desempenho da cultura.

De acordo com VIEIRA (1973) e PIMENTEL (1985), a irrigação deve ser feita, preferencialmente, por sulcos de infiltração para que não haja prejuízo da floração e frutificação com a aplicação de água na superfície foliar. Porém, como a eficiência de irrigação do método é baixa considerando o volume de água envolvido na aplicação da lâmina e o percentual de água aproveitada, o seu emprego torna-se limitado, principalmente para a berinjela que é cultivada em regiões de topografia acidentada.

Assim, a irrigação por gotejamento constitui-se em boa opção para a cultura, uma vez que a água é aplicada em pequenas quantidades, não acarretando problemas de aeração do solo, fator esse de extrema importância na respiração e absorção o que encurta o seu ciclo vegetativo(VIEIRA, 1973).

2.2.2. Efeitos sobre o crescimento

VIEIRA (1973) comparando os sistemas de irrigação por gotejamento e por sulcos de infiltração encontrou maior altura de plantas (aproximadamente 75cm), número de flores (cerca de 5) e frutos (cerca de 3) para o

primeiro sistema de irrigação. Há que se destacar que o gotejamento foi a baixa intensidade (5,1 l/h), vazão essa muito próxima àquela utilizada no presente estudo (4 l/h).

BERNARDI (1965), estudando sistemas de cultivo de diferentes cultivares, constatou que a altura considerada padrão para a cultura era 65cm.

No que se refere ao sistema radicular, embora a literatura para hortaliças mencione uma extensão de 40cm de profundidade, VIEIRA (1973) observou em solo argiloso, diferenças na sua extensão. Para sistemas de irrigação por gotejamento, a profundidade efetiva do sistema radicular atingiu a camada de 25cm, e, para os tratamentos por sulcos de infiltração essa extensão foi até 30cm.

Este crescimento aparentemente menos profundo da raiz pode ser explicado pelo "trauma" sofrido durante o transplante das mudas, porque a densidade de plantio parece não afetar a cultura, pelo menos até cinquenta e seis dias após o plantio, segundo dados e discussões de MINAMI (1977).

SGANZERLA (1990) mencionou ainda que o sistema radicular da cultura tem grande capacidade de absorção e explora com eficiência o solo sobretudo no período de crescimento.

MINAMI (1977), estudando a cultivar Flórida Market, em Piracicaba-SP, na densidade de 12.345 plantas/ha, apresentou algumas considerações sobre o seu crescimento : comprimento de planta variando de 13,11cm a 64,65cm (em quarenta e quatro dias após o plantio); número de folhas na

faixa de 5,07 a 39,74 (trinta dias após o plantio e oitenta e quatro dias após o plantio) e número de frutos igual a 4,53. A parte aérea cresceu mais rapidamente nos primeiros dias do que as raízes, o mesmo ocorrendo para a área foliar no período dos vinte e oito aos quarenta e dois dias. Este aumento brusco de área foliar foi devido ao aumento do número de folhas e não do tamanho das folhas.

MINAMI (1977) comentou ainda que o número de flores e frutos tende a diminuir com o envelhecimento da planta e aumento da população.

Para DAUNAY e MALET (1986a) o posicionamento dos ramos e, conseqüentemente, das flores neles existentes, juntamente com o sistema radicular é que exercem influência igual e recíproca no número de frutos, sendo o sistema radicular responsável, principalmente, pelo peso médio dos frutos.

2.2.3. Aspectos fisiológicos

Um dos trabalhos pioneiros sobre resistência à seca em berinjela foi o estudo desenvolvido por BEHBOUDIAN (1977a; 1977b). BEHBOUDIAN (1977a) afirmou que a berinjela tem maior resistência à seca do que outros vegetais hortícolas, baseado no fato de que os valores do conteúdo relativo de água e potencial de pressão das folhas de plantas submetidas à seca permaneceram mais altos do que outras herbáceas C₃, mostrando o seu melhor controle estomático,

bem como a melhor eficiência das suas raízes em absorver água. É importante ter claro que nesse estudo o potencial de pressão foi estimado pela diferença entre potencial da água na folha com a câmara de Scholander e o potencial osmótico da seiva medido pela câmara higrométrica, onde ambos são passíveis de erro, principalmente o potencial osmótico determinado em seiva extraída.

Segundo o autor, o potencial osmótico por sua vez, apresentou um decréscimo linear com as reduções do potencial da água na planta, sugerindo um ajustamento osmótico da cultura para evitar variações consideráveis no potencial pressão. Este último, só igualou-se a zero quando o potencial da água na planta atingiu o valor de $-2,35$ MPa. Culturas como o tomate e couve-flor atingem essa situação a um potencial da água na planta igual a $-1,78$ e $-1,57$ MPa, respectivamente, mostrando que o declínio de potencial da água na folha para berinjela, para um mesmo valor de potencial da água no solo é maior do que para as demais culturas.

BEHBOUDIAN (1977b), comparando plantas pré-estressadas e aquelas estressadas submetidas a recuperação por um dia, constatou que o potencial pressão das plantas em recuperação (para um mesmo valor de potencial da água na folha) excedeu aquele das plantas estressadas ($0,834$ MPa e $0,500$ MPa, respectivamente), o que pareceu ter alguma significância funcional para a cultura, uma vez que a resistência estomática e o potencial osmótico também

aumentaram para as plantas em recuperação.

CORNILLON e DAUPLE (1981) estudando as respostas de duas variedades de berinjela às frequências e lâminas de irrigação, encontraram valores de potencial da água na folha entre -1,50 a -2,00 MPa para uma resistência à transpiração menor do que $6,5 \text{ s.cm}^{-1}$, mostrando que os estômatos continuam com boa abertura mesmo com os baixos valores de potenciais, parecendo reforçar as hipóteses lançadas por BEHBOUDIAN (1977a) e (1977b) a respeito da condição de resistência à seca da cultura.

Nessa linha de estudo, SHALHEVET et al (1983) verificaram que a condutância estomática não foi afetada pelos maiores intervalos de irrigação (por aspersão-16 dias) e também pelos maiores níveis de salinidade, permanecendo em cerca de $0,3 \text{ cm.s}^{-1}$. O mesmo não aconteceu para o potencial osmótico que sofreu um decréscimo com os parâmetros acima mencionados.

Estudos de DAUNAY et al (1986c) mostraram que a densidade de estômatos (número de estômatos por unidade de área foliar) é independente do crescimento foliar, mas um pouco sensível ao fatores climáticos a que as folhas são submetidas durante o seu desenvolvimento. Além disso, encontrou-se uma correlação positiva entre densidade média de estômatos das variedades estudadas e o peso médio das raízes, sugerindo que através das medidas estomáticas seja possível fazer estimativas a respeito do comportamento do sistema radicular, o qual é considerado muito desenvolvido por DAUNAY

e MALET (1986b).

Para DAUNAY e MALET (1986b) essa ligeira influência das raízes no comportamento estomático (resistência à difusão de vapor d'água) ocorre se o solo é conservado úmido. Outro fato que os autores consideram de extrema importância é o seu comportamento como planta anfiestomática, onde a maior parte da transpiração ocorre através da superfície abaxial das folhas (a mesma possui resistência estomática sempre menor do que a superfície adaxial sob quaisquer intensidades luminosas), mesmo na faixa de baixos valores de irradiância de 50-100 W.m⁻².

LATIMER e MITCHEL (1988) investigaram os possíveis efeitos de condicionantes como ácido abscísico no solo para aumentar a resistência estomática após uma (1) hora de molhamento, concluindo que esse tratamento tende a produzir uma recuperação do balanço hídrico mais rápida do que em plantas não condicionadas. Apesar dessa influência do condicionamento ficou claro que a extensão e a duração do estresse foram fatores mais limitantes ao crescimento de que a substância em si.

De acordo com KATERJI et al. (1990) o potencial de base da água na folha (pré-dawn) parece ser o indicador mais sensível às variações de regime hídrico uma vez que a berinjela é uma planta de comportamento anisohídrico (não mantém o potencial da água na folha constante durante todo o dia como ocorre com o tomate), encontrando uma sincronia entre esse parâmetro e a variação do diâmetro do caule.

Contudo, apenas os valores limites de variação do diâmetro pouco podem expressar sobre a mudança quali ou quantitativa que ocorre na planta diante de um estresse hídrico, sendo indispensável uma avaliação completa com o estágio fenológico, a espécie e o sistema de irrigação envolvido.

2.2.4. Efeito sobre a produção e qualidade do fruto

CORNILLON e DAUPLE (1981), encontraram valores de produção entre 32.300 Kg/ha e 27.400 Kg/ha para a irrigação por sulco, e, 43.500 e 33.700 Kg/ha para a irrigação por aspersão, na densidade de 20.000 plantas/ha, sob mesmas condições ambientais. Alguns desses valores são bem superiores àqueles normalmente encontrados em cultivares nacionais, uma vez que as cultivares estudadas são originárias de clima mediterrâneo e do extremo-orient e possuem características diferenciadas como por exemplo, sistema radicular bem mais desenvolvido. O rendimento de 19.000 kg/ha obtido para a cultura Flórida Market, embora numa densidade de plantas bem inferior (12.345 plantas/ha) conforme MINAMI (1977) justifica a menor produção das cultivares nacionais. Embora o autor lembre que o peso por fruto esteve um pouco acima da média encontrada (340g).

No tocante à qualidade dos frutos, SHALNEVET et al (1983) mostraram que com os aumentos de salinidade e intervalos de irrigação (por aspersão) aumentaram a percentagem de frutos comercializáveis e diminuíram o seu

peso, embora a sua quantidade não tenha sido afetada.

Com relação às frequências e sistemas de irrigação, HAFEEZ e CORNILLON (1976) e CORNILLON e DAUPLE (1981) apontaram o intervalo mais curto (diário) de irrigação por aspersão como sendo aquele que propiciou produções em torno de 22% melhores do que as demais, onde o sistema de irrigação também pode ter contribuído para essa maior disponibilidade hídrica, uma vez que o sistema de aspersão permite um maior armazenamento de água na zona das raízes enquanto no sistema de sulcos de infiltração grande parte é percolada.

Sobre as lâminas ministradas, o valor máximo (80% **ETP**) mostrou melhores produções, enquanto o mínimo (40% **ETP**) mostrou o maior acúmulo de matéria seca, possivelmente em função de uma baixa migração dos produtos fotossintetizados correlacionada com o suplemento de nitrogênio, tendo o solo necessidade de manter uma alta redução de nitrato para que a produção melhore (CORNILLON e DAUPLE, 1981).

Os dados encontrados por VIEIRA (1973) sobre irrigação por gotejamento mostraram uma produção de 33.452 Kg/ha para uma vazão de 5,2 l/h e 33.323 Kg/ha para intensidade média de 27 l/h, onde a análise de variância mostrou através do teste **F** aplicado existir diferença estatística significativa entre os dados. No entanto, o coeficiente de variação foi bastante alto (41,86%) o que mostra uma grande dispersão dos dados, e, portanto, que essa

diferença estatística encontrada, não é bastante aceitável. Para VIEIRA (1973), além da vazão e o sistema de irrigação, a distâncias dos gotejadores ao colo das plantas (no caso proposto como 15 a 20cm) também pode ter contribuído para a melhoria da produção visto que o volume de solo a ser explorado será maior.

2.3. Função de produção em resposta à água

A relação funcional entre produção da cultura e água disponível é chamada função de produção com base em água. Para VAUX e PRUITT (1983) a definição acima deve ser tratada como a curva do produto físico marginal na qual a produção (y) é uma função da proporção de água (w), com todas as outras variáveis mantidas constantes, ou seja, uma alteração (variação) na produção associada com a adição de uma ou mais unidades de água. A máxima eficiência de uso da água ocorre quando a derivada do produto físico marginal é igual a zero, ou seja :

$$W^{-1} \left[\left(\frac{\partial Y}{\partial W} \right) - \left(\frac{Y}{W} \right) \right] = 0 \quad (1)$$

Para STEWART (1972) essa função foi derivada empiricamente, mostrando condições limitadas de experimentação.

Há uma inadequação dessa teoria empírica com aquela de bases fisiológicas, o que a torna não prontamente

transferível e bastante imprevisível a nível econômico, ou seja, só previsível a nível físico. Por isso, VAUX et al (1981) ponderaram que a função de produção só será completa se envolver os aspectos fisiológicos (estádio de crescimento da cultura no qual o estresse é imposto e a interdependência desses estádios) e agronômicos da planta em relação ao suprimento de água.

LEME (1991) completou essas colocações considerando que além dos aspectos fisiológicos é importante avaliar a qualidade do produto produzido e os aspectos locais e específicos de cada planta.

Porém, a importância da função é o planejamento da irrigação que o modelo possibilita com base na intensidade de déficits sequenciados e tempo de estresse hídrico a que a cultura é submetida (STEWART, 1972 e STEWART e HAGAN, 1973).

Conforme STEWART e HAGAN (1973), os estudos de planejamento da irrigação através das funções de produção tiveram origem em trabalhos experimentais com alfafa, trigo, batata e beterraba açucareira com a hipótese básica de que a produção tende para um máximo com a máxima adição de água. LEME (1991) explica que esse ponto de máxima produção é, na verdade, um ponto onde, embora com redução da água em relação ao máximo que poderia ser aplicado, ainda é possível se obter uma maximização da produção.

Assim STEWART e HAGAN (1973) tomaram como tratamento principal a água medida através dos parâmetros lâmina aplicada, condições hídricas do solo, altura

pluviométrica e evapotranspiração (na verdade, um parâmetro indireto da água aplicada - STEWART,1972). A principal variável de resposta é a produção, incluindo as medidas de matéria seca e o índice de área foliar, podendo também trabalhar-se com produção de grãos, onde a frequência de irrigação passa a ser importante e a função passa a não prever bem a produção (HANKS e HILL, 1980).

Os trabalhos de SINGH et al (1987), a exemplo de outros autores, confirmaram essas colocações uma vez que encontraram uma correlação significativa entre evapotranspiração e produção, sendo mais alta para a produção de matéria seca do que para a produção de grãos e/ou tubérculos, conforme encontrou SHIH e SNYDER (1984) com *Colocasia esculenta*.

Além de melhorar a correlação quando emprega-se o parâmetro matéria seca, também melhora-se a linearidade da função conforme será comentado posteriormente.

Em suma, a relação funcional depende basicamente das condições climáticas do local, do tipo e variedade da cultura, implicitamente admitindo a eficiência de irrigação como máxima, pois presume-se que a cultura está se desenvolvendo sob condições ótimas de cultivo, tendo como uma das vantagens mais significativas a possibilidade de simulação em situações impraticáveis de medida (HANKS e HILL, 1980).

Segundo STEWART e HAGAN (1973); STEWART et al (1974); STEWART et al (1975) e HANKS e HILL (1980), a função

de produção é expressa pela equação :

$$\frac{y}{y_m} = (1 - \beta_0 \cdot ETd) \quad (2)$$

onde

$y = y_a$ = produção obtida (Kg/ha);

y_m = produção máxima (Kg/ha;

β_0 = declividade da curva produção relativa (y / y_m)
contra a de evapotranspiração relativa (ETa / ETm);

ETd = evapotranspiração relativa.

Ou, como colocou DOORENBOS e KASSAM (1979) :

$$\left(1 - \frac{y_a}{y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ETa}{ETm}\right) \quad (3)$$

$K_y = \beta_0$ = coeficiente angular da equação de regressão linear simples que relaciona os déficits de produção e de evapotranspiração. BAIRD et al (1987) argumentam que essa relação que origina o K_y é pouco clara.

VAUX e PRUITT (1983) apontam as características principais dessa função :

- a - período em que se aplica o estresse hídrico e a interdependência entre estádios fenológicos;
- b - transferabilidade da função;
- c - tipo de cultura (anual, perene, etc.);
- d - qualidade da cultura obtida;
- e - especificidade da relação entre evapotranspiração e água aplicada.

STEWART e MUSICK (1982) citaram os trabalhos de

De Wit³ e Arkely⁴ como origem desse tipo de modelo, os quais estabeleceram que para transpiração limitada há correlação linear entre matéria seca e transpiração. No entanto, para produção de grãos, a transpiração ou a evapotranspiração deve ser maior durante o estágio vegetativo, antes do primeiro incremento de produção, o que faz com que a reta continue linear, embora o coeficiente linear não seja o mesmo.

De acordo com autores acima e ainda HANKS e HILL (1980) e VAUX e PRUITT (1983), a assunção básica da relação produção (**Y**) e transpiração (**T**) dos trabalhos de De Wit³ tiveram origem nos trabalhos de Briggs e Shantz⁵, que propuseram as seguintes relações :

$$Y = \frac{m \cdot t}{E_0} \quad (\text{regiões semi-áridas}) \quad (4)$$

e

$$Y = n \cdot t \quad (\text{regiões úmidas}) \quad (5)$$

onde

Y = produção de matéria seca;

³DE WIT, C. T. Transpiration and crop yields. Inst. of BIOL. and Chem. Res. on Field Crops and Herbage. Wageningen, Netherlands. Versl. Landbouk. n°64.6s-Gravenhage. 88p. 1958.

⁴ARKLEY, R. J. Relationships between plant growth and transpiration. *Hilgardia*. 34(13):559-584, 1963.

⁵BRIGGS, L. J. & SHANTZ, H. L. The water requirement of plants. I. Investigations in the Great Plains in 1910 and 1911. U.S. Bur. Plant Industry. Bul. 284, 49 p., 1913.

t = transpiração;

E_0 = evaporação de água livre;

m, n = fatores dependentes da cultura e espécie.

É preciso enfatizar que as relações foram postuladas com dados originários de experimentos em vasos, mantendo o solo sempre à capacidade de campo, o que foi um dos fatores limitantes da transpiração. Isso reflete uma das grandes dificuldades do modelo, que é medir a evaporação e a transpiração a nível de campo.

STEWART (1972) determinou a relação entre produção e evapotranspiração em experimentos com milho onde obteve-se uma relação linear entre esses parâmetros tendo a água como principal fator limitante. Tomando como base o ciclo da cultura, esses dados suportaram um considerável número de trabalhos posteriores a hipótese de que esta função, para muitas culturas, devia ser linear STEWART e HAGAN, (1973); STEWART et al, (1974); STEWART et al, (1975); STEWART e MUSICK (1982); VAUX e PRUITT (1983); BAIRD et al (1987).

Porém, para baixos suprimentos de água a produção é reduzida e a magnitude dessa redução não é uma simples função da evapotranspiração segundo DOWNEY (1972). Por isso, BARRET e SKOGERBOE (1980) argumentaram que um dos grandes problemas da função é mostrar a relação unívoca existente entre produção e evapotranspiração.

Conforme STEWART (1972) e STEWART e HAGAN (1973), a hipótese básica favorável à existência da relação

linear nasceu de estudos em condições de campo, os quais relacionaram transpiração (t) e crescimento (G), isto em termos de produção de matéria seca, sempre partindo de parcelas bem umedecidas onde a relação t / G dependia da espécie, cultura e clima.

A proporcionalidade entre G e t foi algo inquestionável e encontrada em outros trabalhos feitos na área, porém, a passagem da reta pela origem é questionável, como mostram os trabalhos com sorgo, trigo e aveia em condições de campo, elaborados por STEWART e HAGAN (1973).

DOWNEY (1972), em seus trabalhos com alfafa, argumentou que esse comportamento não linear da função de produção ocorre quando a cultura possui estádios fenológicos particularmente sensíveis ao estresse hídrico e quando a produção é de uma parte especializada da planta, necessitando de água para atingir o estágio reprodutivo, com o que concordaram SINGH et al (1991) em seus trabalhos com mostarda. Para a alfafa o comportamento é inverso ao das demais culturas citadas anteriormente, uma vez que não apresenta estádios fenológicos particularmente sensíveis, o que é concordante com os dados de UNDERSANDER (1987) e com as informações de Chang et al⁶ citados por STEWART e HAGAN (1973) para cana-de-açúcar, onde a função mostrou-se essencialmente linear passando inclusive pela origem.

⁶CHANG, J. H., CAMPBELL, R. B., and ROBINSON, F. E. On the relationship between water and sugarcane yield in Hawaii. *Agronomy Journal*. Madison: 55, 1963.

Para STEWART (1972) e STEWART e HAGAN (1973) a passagem pelo ponto zero da função (origem) significa que num dado tempo onde o déficit de **ET** é muito pequeno a produção é máxima (**Y_m**), ou seja, o déficit de produção é nulo, ou praticamente inexistente.

Para alfafa UNDERSANDER (1987) informa que, no geral, a produção e a evapotranspiração foram bem correlacionadas apresentando valores baixos de coeficientes de determinação (r^2) em algumas colheitas em função da alta incidência de chuva durante os períodos de crescimento, o que gerou oscilação nas taxas de evapotranspiração da cultura. Isso mostra que a relação **G X ET** é da mesma natureza que **Y X ET**, isto porque **G** e **Y** são tomadas como sinônimos (STEWART e HAGAN, 1973).

Esses autores ainda colocam que a linearidade da função **Y** (produção de grãos) contra **ET** vai depender da razão **Y / G**, a qual deverá ser sempre constante com os aumentos do déficit de evapotranspiração. Ou então, que a razão **Y / G** aumente ou diminua de maneira linear, o que significa um decréscimo percentual constante da relação déficit de produção / déficit de evapotranspiração com os aumentos ou decréscimos de evapotranspiração.

STEWART (1972) e STEWART e HAGAN (1973) afirmaram que a função mantém a linearidade apenas para déficits severos, pois para déficits muito reduzidos essa linearidade não se mantém segundo BAIRD et al (1987), e para valores de evapotranspiração maior ou igual a 0,70 **E_{tm}** a

função apresenta curvaturas.

Para STEGMAN (1983) o nível severo de déficit hídrico ocorre quando a fração de água prontamente disponível atinge um valor igual ou inferior a 50%, e, portanto a relação E_{ta} / E_{tm} torna-se igual ou menor do que 50% da Água Disponível (AD). Abaixo desse valor E_{ta} começa a cair abaixo de E_{tm} isto sempre de forma linear de acordo com DOORENBOS e KASSAM (1979) e BAIRD et al (1987). Segundo citações mencionadas por STEGMAN (1983) esse limiar pode chegar a 35% ou 30% da AD parecendo que, na verdade, existe um limite máximo (50%) e pode existir um limite mínimo, na faixa de 20 a 35%, para a cultura do milho.

Estudos de VAUX et al (1981) mostraram que além do limiar, deve-se observar características como intervalo de duração dos déficits de ET existentes, bem como a intensidade e sequência dos déficits hídricos nos diferentes estádios fenológicos para que a relação possa ser linear, pois, para culturas como algodão, milho, trigo, batata e sorgo os diversos autores encontraram uma relação convexa entre déficits de produção e de evapotranspiração.

STEWART e HAGAN (1973) mencionam que além dessas culturas também o feijão, feijão de corda e girassol apresentaram uma relação convexa entre produção e evapotranspiração. O sorgo, em especial, mostrou-se ora sob a forma linear ora sob a forma convexa dependendo da intensidade do estresse imposto, o que foi concordante com os dados de HOWELL e HILER (1975) atribuindo a esse fator o fato

de não encontrar uma forte correlação entre produção e evapotranspiração (coeficiente de regressão linear igual a 0,64).

STEWART e HAGAN (1973); BARRETT e SKOGERBOE (1980) e STEWART e MUSICK (1982) sugeriram que as perdas por drenagem, as deficiências de aeração e o alto índice de doenças, provavelmente, também contribuem para a não linearidade da função. STEWART (1972) comentou a influência da aeração e inclusive alguns artifícios que podem ser assumidos para manter essa linearidade, como a perda da proporcionalidade entre os fatores relacionados, podendo citar como exemplo a assunção de um valor constante de eficiência da água aplicada com a demanda atmosférica, ao longo das irrigações no ciclo da cultura.

BARRETT e SKOGERBOE (1980) comentaram que boas práticas de manejo podem transformar a forma da função de curvilínea para linear.

A função de produção estudada requer que evapotranspiração seja medida ou estimada podendo isto ser feito através de vários métodos, sendo o balanço de massas no solo o método básico.

Essas medidas ou estimativas de evapotranspiração sofrem problemas, originários das medidas de drenagem, da dificuldade para se medir a profundidade na qual as raízes extraem água (STEWART, 1972) e (STEWART et al, 1974), das medidas de "runoff" e da própria quantidade e variedade de instrumental exigido (LEME, 1991), o que para

DOWNEY (1972) e STEWART et al (1974) pode ser eliminado utilizando lisímetros. DOWNEY (1972) levantou ainda outras questões como erros gerados pelo fato de se medir a umidade sem ter certeza de qual a melhor periodicidade que isso deve ocorrer, ao que STEWART (1972) acrescentou a dificuldade de se determinar o número de amostras e repetições adequadas.

HAGAN e STEWART (1972) mencionam que os métodos mais utilizados para se medir a umidade do solo são gravimetria, sonda de neutrons e blocos de gesso, sendo que os blocos de gesso é que podem apresentar maiores problemas se o sistema radicular atingir profundidades maiores do que a instalação do sensor, uma vez que estes respondem muito a alteração de salinidade do meio e podem não registrar com maior precisão a contribuição da água que é absorvida por ascensão capilar no processo de uso da água pela planta.

SERRANO et al (1992) recomendam o uso de tensiômetros para estimativa de evapotranspiração, pois em estudos para obtenção do **K_y** para morango, o instrumento mostrou-se eficiente, mesmo a valores de potenciais da água no solo muito negativos (limite de -0,07 MPa).

Para STEWART et al (1974) e VAUX et al (1981) um problema que também pode ocorrer na estimativa da evapotranspiração é a utilização de um valor inadequado de eficiência do sistema de irrigação, visto que esse dado pode alterar a quantidade de água aplicada, e conseqüentemente o uso da água em função do percentual a maior ou a menor acrescido, podendo produzir excessos ou déficits hídricos que

podem alterar os valores de evapotranspiração.

Por isso DUGAS e AINSWORTH (1985) colocam que é importante ter claro as especificidades do modelo de estimativa de evapotranspiração empregado e as exigências da função de produção, pois alguns são mais precisos como é o caso do método de Penman, enquanto outros como o do tanque Classe A mostram superestimativas dos valores obtidos (HOWELL e HILER, 1975).

HAGAN e STEWART (1972); STEWART (1972) e STEWART et al (1974) utilizaram a razão E_{tm} / ECA , ou a razão E_{tm} / ETP , com a evapotranspiração determinada através de lisímetros de flutuação, como forma de estimar a evapotranspiração máxima acumulada e normalizar os dados de acordo com o clima do local. A referida razão mostrou alguns pontos importantes :

- a - cuidados ao aplicá-la em locais com diferentes advecções, uma vez que o tanque Classe A sofre influência desse processo;
- b - o valor baixo da razão obtido nas primeiras semanas representou a maior evaporação ocorrida nas primeiras semanas do ciclo da cultura;
- c - a relação manteve-se a mesma após atingir o ponto máximo da relação (0,90 no caso do milho), mesmo com o aumento de área foliar;
- d - próximo à maturidade, a relação começou a cair pouco após ter ocorrido o índice de área foliar máximo (IAF) o que não ocorreria se o solo fosse bem umedecido antes desse

IAF ocorrer, segundo relatos de BAIRD et al (1987); e - deve ser observado o devido cuidado na adequação do método a ser utilizado para estimativa de **ETP**, sendo as técnicas calibradas e adequadas conforme o grau de precisão desejado.

Para VAUX e PRUITT (1983) e LEME (1991), o uso dessa relação é que permitiu a extrapolação do modelo para diferentes locais uma vez que o clima interfere nos valores de **ET**.

Em suma, a relação empregada refletiu o comportamento fisiológico da cultura, visto que ela permite medir, principalmente, a água empregada no processo de transpiração (HAGAN e STEWART, 1972; STEWART, 1972; STEWART et al, 1974).

Porém, para muitos autores a representatividade da razão de evapotranspiração depende fundamentalmente da metodologia que envolve o método de estimativa empregado. OWEIS et al (1988) em estudos com batata, SHIH e SNYDER (1984) com *Colocasia esculenta* e SERRANO et al (1992) com morango mostraram que os coeficientes de cultura e de tanque são suficientemente acurados para serem utilizados no manejo e uso da irrigação, analisando principalmente o aspecto da sua praticidade. UNDERSANDER (1987), no entanto, comentou que quando a produção máxima para cada colheita foi considerada constante, a relação evapotranspiração / produção sofreu um decréscimo, não sendo bem representativa, em função da alternância acentuada entre dias limpos e dias nublados.

Explicando a utilização dos parâmetros relativos na função de produção verificou-se que no ponto onde ET / E_{tm} apresenta como ordenada um valor de Y / Y_m igual a zero, uma fração de E_{tm} é representada pela evaporação direta do solo, ou seja, há predominância da evaporação no processo de evapotranspiração de acordo com Hanks⁷ citado por HANKS e HILL(1980).

A fração de E_{tm} que representa a transpiração é aproximada pela fração $(1 - 1 / \beta_o)$, o que significa $\beta_o = 1$ ou maior do que 1. Para $\beta_o = 1$ significa que não houve evaporação do solo e $\beta_o = 1,5$ significa que $1 / 3$ da $E_{tm} = E$ e $2 / 3$ da $E_{tm} = t$. Um valor de $\beta_o < 1$ seria resultante da pobreza dos valores de E_{tm} ou da variabilidade no campo.

Um dos estudos mais detalhados sobre a variação de β_o ou K_y foi feito por Stewart¹ citado por HANKS e HILL (1980), onde encontrou-se valores entre 1,0 a 1,3 para as diferentes localidades e anos de plantio, mesmo com a produção máxima variando largamente assim como a evapotranspiração máxima (E_{tm}). Isso revelou que esse coeficiente β_o possui a propriedade de transferibilidade de um local para outro, não tendo fortes relações com o local ou ano, o que foi questionado por UNDERSANDER (1987) porque as funções encontradas por esses autores variaram entre locais, anos e colheitas (produzidas por diferentes variedades em

⁷HANKS, R. J. Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agronomy Journal*. Madison, 66:660-665, 1974.

diversos anos de plantio), apresentando diferentes coeficientes lineares.

VAUX e PRUITT (1983) argumentaram que essa transferabilidade é um problema crítico a ser analisado. β_0 é assim um fator de sensibilidade da cultura ao déficit de água, sendo tanto maior quanto maior a perda de produtividade devido a uma determinada deficiência de água. É, portanto, variável entre os tipos de cultura e cultivares, podendo ser constante para certas cultivares (LEME, 1991).

De acordo com DOORENBOS e KASSAM (1979), tanto para o ciclo todo como por períodos fenológicos, as culturas podem ser consideradas insensíveis a seca quando $K_y < 1$, critério esse adotado também por BAIRD et al (1987), sendo que a redução da produtividade é proporcionalmente menor com o aumento do déficit de água, como é o caso da alfafa, beterraba açucareira, amendoim e girassol. Para culturas como banana, milho ($K_y = 1,26$ segundo STEWART et al 1975) e cana-de-açúcar o K_y é > 1 e as culturas são sensíveis à seca. O sorgo apresentou um $K_y = 0,98$ (STEWART et al, 1975), o que mostra a sua menor sensibilidade à seca, conforme confirmaram os dados de BULLER et al (1991).

Os dados de MOGENSEN et al (1985) para trigo de verão mostraram valores de K_y na faixa de 3,36 a 1,28, variando entre os diferentes estádios fenológicos, salientando o efeito da cultura, do clima e do solo, conforme argumentaram VAUX e PRUITT (1983).

No entanto, as informações de que para um valor

de $K_y > 1$ a cultura é muito sensível e de $K_y < 1$ ela é insensível à seca são discutíveis porque isso, na verdade, dependerá da sensibilidade da cultura ao estresse imposto (intensidade e duração), o que foi confirmado por SCÁRDUA (1985) e SHANHAN (1992). SCÁRDUA (1985) inclusive mencionou que a estimativa de K_y através dos períodos fenológicos e não do ciclo todo permitiu uma melhor estimativa do decréscimo de produção da cana-de-açúcar.

SARMA e SIVAKUMAR (1989), ao estudarem a cultura do amendoim constataram que o parâmetro K_y é pouco expressivo para expressar a sensibilidade da cultura se forem feitas comparações em períodos diferentes de duração dos estádios fenológicos e/ou frequência de irrigação, bem como com métodos diferentes de medidas de evapotranspiração, pois esses podem vir a alterar os valores de K_y .

SINGH et al (1991) de certa forma questionaram essas colocações, pois ponderaram que a análise deve ser feita em termos da avaliação do grau de sensibilidade da cultura em cada estágio fenológico (se a campo ou condições controladas), sendo concordante com DOWNEY (1972); STEWART (1972); STEWART et al (1974); VAUX et al (1981); VAUX e PRUITT (1983) e SINGH et al (1987), os quais observaram também a duração do estresse hídrico e a natureza das partes da planta afetada, isto devido as divergências existentes no comportamento das plantas e cultivares.

O motivo de se estudar o estresse hídrico num dado período fenológico deveu-se, também, ao fato de se

procurar um esclarecimento sobre um possível "condicionamento" promovido pelo estresse hídrico numa dada fase fenológica, induzindo a problemas de absorção de água numa outra fase. Os trabalhos de DOWNEY (1972), STEWART (1972), STEWART e HAGAN (1973), STEWART et al (1974), HOWELL e HILER (1975), STEWART et al (1975) e BAIRD et al (1987) mencionaram que o tempo de ocorrência do estresse hídrico foi o parâmetro crítico para dimensionar a magnitude do déficit. Assim, VAUX et al (1981) comentaram que é preciso estudar se o déficit final possui um efeito aditivo ou se esse efeito é multiplicativo ao longo do ciclo da cultura.

Esses estudos são importantes para que possa-se averiguar a influência da frequência de irrigação no modelo, uma vez que esse dado não foi parametrizado nos primeiros trabalhos sobre o assunto e tampouco na proposta de DOORENBOS e KASSAM (1979).

O **Ky** sistematiza assim, a frequência de irrigação, permitindo então planejar melhor a quantificação e uso da água pela cultura a fim de que se tenha uma irrigação mais eficiente.

A estimativa do fator **Ky** é feita pela equação de regressão linear entre déficit de evapotranspiração relativa e déficit de produção relativa, tratando produção como matéria seca ou grãos e utilizando a relação evapotranspiração / produção para verificar se seria possível obter a relação proposta pela regressão linear. Daí BAIRD et al (1987) se referirem à pouca clareza da relação.

Os coeficientes de determinação dessa equações de regressão linear são formas de se avaliar a relação entre os parâmetros envolvidos e o valor do **K_y** obtido.

A distribuição dos dados é assumida como normal e os resíduos como independentes, sendo a variância constante e a média zero (STEWART e HAGAN, 1973; STEWART et al, 1975; HANKS e HILL, 1980 e VAUX et al, 1981).

Caracterizações fenológicas como alongamento e divisão celular, respiração, fotossíntese, absorção (notadamente através do sistema radicular) podem se constituir em variáveis auxiliares para explicar o uso da água (VAUX et al, 1981).

O modelo matemático proposto tem sua validade e suas limitações, que são importantes de serem analisadas em conjunto com fatores como fertilidade do solo, densidade populacional e outros para que se mantenha uma visão conjunta dos processos envolvidos no ciclo da cultura.

Dentre essas limitações pode-se citar :

- a - o desconhecimento da sensibilidade de cada fase fenológica, e, conseqüentemente, dos níveis de estresse a que pode ser submetida a cultura para que não se incorra em erros quando trabalha-se com épocas de plantio diferentes (BAIRD et al, 1987);
- b - o desconhecimento da frequência e quantidade de irrigações necessárias para se encontrar o déficit severo de **ET** (intensidade de déficit), sendo necessária uma avaliação adequada da água disponível no solo (Robin et

al^o, Grimes et al^o citados por VAUX et al, 1981).

c. - a assunção de que o crescimento máximo ocorre na capacidade de campo, sendo necessário aplicar em cada irrigação uma quantidade suficiente para fazer o solo retornar a sua capacidade de campo (VAUX et al, 1981).

Dentro desta linha, questiona-se a proposta do modelo de que a água é removida igualmente do solo em todos os seus poros até o limite da capacidade de água disponível (CAD), sendo necessário que todos esses poros sejam igualmente preenchidos para que se atinja a evapotranspiração máxima (HAGAN e STEWART, 1972; STEWART et al, 1974 e STEWART et al, 1975).

Ainda sobre as condições de solo, os autores citados anteriormente mencionam a necessidade de se considerar as diferenças de textura entre camadas de solo, apesar dos primeiros conceitos adotarem essas medidas como uniformes, porque isso deve melhorar as comparações entre valores obtidos em locais diferentes. Resumindo, o modelo não assume contrastes físicos (solo, sistema de operação, etc.) e nem habilidade para prever os contrastes de distribuição e infiltração da água no campo como, por exemplo, drenagem e "runoff" (STEWART,

^oROBIN, J. S. & DOMINGO, C.E. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. **Agronomy Journal**. Madison, 45 : 618-21, 1953.

^oGRIMES, D. W., MILLER, R. J., DICKENS, L. Water stress during flowering of cotton. **Calif. Agric.** 24(3): 4-6, 1970.

1972; STEWART e HAGAN, 1973 e HANKS e HILL, 1980);

- d - definição adequada da água disponível no solo, capacidade de água disponível, profundidade efetiva do sistema radicular e estado de energia da água no solo, através dos parâmetros que medem e/ou determinam a umidade do solo;
- e - a estimativa da produção máxima bem como da evapotranspiração máxima adequada ao local, dentro de uma eficiência máxima de irrigação (STEWART e HAGAN, 1973; BARRETT e SKOGERBOE, 1980 e STEWART e MUSICK, 1982);
- f - a falta de dados que permitam quantificar a qualidade do produto obtido em experimentos que aplicam essa função de produção;
- g - a transferabilidade da função que pode ser um problema de menor dimensão se o solo apresentar contrastes físicos evidentes que não permitam entender o processo de uso da água no sistema solo-planta (VAUX et al, 1981). Isto porque esse coeficiente de transferabilidade deve ser apenas função da variedade, tipo de solo e clima do local.

O uso das funções de produção presume, portanto, boas condições de plantio, de manejo e de eficiência de irrigação, tendo a água como único fator limitante, para que assim sejam isoladas ao máximo as condições possíveis de prejudicar a utilização e eficiência do modelo matemático.

Cabe ainda acrescentar o conhecimento do

comportamento morfofisiológico e fenológico da cultura, porque senão torna-se muito complexo avaliar o tempo, a intensidade e duração do estresse hídrico imposto bem como as combinações de estresse impostas nos diferentes períodos fenológicos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

O experimento foi realizado em área experimental do Departamento de Horticultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, a uma distância de aproximadamente 500m do Posto Meteorológico local, em Piracicaba - SP (latitude 22°42'S, longitude 47°39'W e altitude 576m), no período de 17 de janeiro a 02 de maio de 1992.

3.1.1. Características físico-hídricas e químicas do solo

O solo da área onde realizou-se o experimento foi classificado como terra roxa estruturada latossólica correspondente ao **Rhodic Kanhaphudalf** segundo DOURADO NETO, 1989.

As principais características físicas da camada do solo em estudo (0 a 30 cm de profundidade) estão nas tabelas 1 e 2 :

Tabela 1 - Análise granulométrica e densidade de partículas para a camada de 0 a 30cm de profundidade do solo.

PROFUNDIDADE (cm)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	DENSIDADE DE PARTÍCULAS (g/cm ³)
0 - 15	43,54	22,23	34,32	2,86
15 - 30	55,17	17,51	27,32	2,90

Tabela 2 - Densidade global do solo (g/cm³) determinada para diferentes parcelas, nas profundidades de 15 e 30cm, no dia 04/05/1992.

PARCELA	DENS (15cm)	DENS (30cm)	PARCELA	DENS (15cm)	DENS (30cm)
2	1,59		38	1,51	1,25
15	1,49		41	1,49	1,36
17	1,50	1,41	43	1,59	1,64
18	1,66	1,32	47	1,64	1,45
22	1,69	1,51	48	1,60	1,41
24	1,47	1,51	49	1,44	
27	1,58	1,29	63	1,52	
30	1,73	1,41			
32	1,46	1,45			
33	1,55	1,63	MÉDIA	1,57	1,43
35	1,61	1,38	D.P.	0,085	0,114

A curva característica de umidade do solo foi determinada através de cinco amostras retiradas na área, por profundidades, sendo estas 0-15 e 15-30cm da superfície do solo, com três repetições por ponto. A escolha das amostras foi feita considerando como uniforme a área sob as duas coberturas, conforme o delineamento estatístico adotado "a priori".

Cada curva foi originária, portanto, da média dos quinze pontos amostrados e o ajuste dos pontos foi feito pelo modelo proposto por VAN GENUTCHEN (1980), sendo os parâmetros estimados da equação para cada profundidade

apresentados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Parâmetros da equação de Van Genutchen para a curva característica média de umidade do solo na camada de 0-15cm de profundidade.

CURVA	ALFA (1/m)	θ_r (cm ³ /cm ³)	θ_c (cm ³ /cm ³)	θ_i (cm ³ /cm ³)
0-15cm	0,684349	0,166	0,547	0,462
m	n	H (cm)	c.a.	iter
0,108321	2,179471	4	0,997	449

Tabela 4 - Parâmetros da equação de Van Genutchen para a curva característica média de umidade no solo na camada de 15-30cm de profundidade.

CURVA	ALFA (1/cm)	θ_r (cm ³ /cm ³)	θ_c (cm ³ /cm ³)	θ_i (cm ³ /cm ³)
15-30cm	0,097014	0,285	0,460	0,390
m	n	H (cm)	c.a.	iter
0,425299	1,197061	21	0,922	419

Com os dados estimados e com base em valores fornecidos pela literatura (SCÁRDUA, 1972; PAULETTO, 1986; TEODORO, 1986; GIL, 1987; MENEZES, 1990; MOURA, 1990; ROSA, 1990; SAAD, 1991 e MOURA, 1992), convencionou-se adotar o critério para capacidade de campo para esse solo como sendo aquele no qual o valor da umidade volumétrica correspondia ao valor de potencial matricial ϕ igual a -70cm coluna de água. Conjuntamente, assumiu-se o critério de ponto de murcha permanente como aquele correspondente ao valor de ϕ_m -15496cm de coluna de água.

A fertilidade do solo é bastante elevada

conforme monitoração feita frequentemente no local.

3.2. Clima

O clima da região é caracterizado como subtropical com inverno seco (C_{wa}), segundo a classificação de Koppen.

De acordo com os dados do Posto Meteorológico da ESALQ (1971-1992), a temperatura média dos meses de janeiro a maio oscila entre 19,0 a 24,4°C e a umidade relativa média entre 74,4 a 75,2%. A altura pluviométrica média mensal para igual período varia entre 51,2 até 222,8 mm. As mesmas considerações são válidas para a evaporação média mensal, variando de 3,06 a 4,27mm/dia, dados esses provenientes do tanque de evaporação Classe A.

O ano de 1992 mostrou-se atípico em relação aos valores médios históricos, uma vez que a amplitude dos valores de temperatura média foram menores (20,71 a 24,71°C), apresentando o mes de maio um valor de cerca de 1,5°C mais elevado. A umidade relativa do ar apresentou valores mais elevados e também uma maior amplitude de variação (77,24 a 84,19%) em relação aos valores médios dominantes ocorrendo o mesmo comportamento para os dados de evaporação do tanque classe A onde permaneceram entre 3,05 a 5,64mm/dia. Em relação a altura pluviométrica incidente, o ano mostrou-se mais chuvoso do que os valores normais conforme pode-se verificar pelos valores extremos ocorridos (73,8 a 232,7mm).

3.3. Coberturas móveis

A área de solo correspondente as parcelas do delineamento experimental foi protegida da entrada de chuva através do uso de duas coberturas removíveis de plástico transparente (0,01mm de espessura) que permaneciam totalmente abertas durante o dia. À noite ou em períodos de chuva essas coberturas eram recolocadas, permanecendo sempre que as condições permitissem, com as partes inferiores da sua frente e fundos abertas. Esse procedimento de abertura tinha por finalidade garantir os níveis de déficits hídricos programados para serem impostos à cultura, nos diferentes períodos fenológicos, sem que ocorresse alterações acentuadas das condições microclimáticas que prevaleceram durante o período de perdas evaporativas.

Para verificar se essas condições estavam sendo garantidas a partir do período que as chuvas aumentaram, instalou-se um tanque Classe A no interior de uma das coberturas, no qual eram feitas leituras diárias. A média das diferenças das leituras do tanque classe A do Posto Meteorológico e do tanque instalado nas coberturas foi 0,96mm, conforme tabela 5 mostrando que as condições microclimáticas das coberturas estiveram próximas àquelas do ambiente. As diferenças diárias maiores ocorreram quando o dia foi chuvoso, pois as coberturas permaneciam fechadas durante todo o dia ou em boa parte dele.

Tabela 5 - Dados, em mm, de evaporação do tanque classe A (ECA) do Posto Meteorológico e daquele colocado sob as coberturas durante o ciclo da cultura.

DATA	ECA (POSTO)	ECA (COBERT)	DIFER. (mm)	DATA	ECA (POSTO)	ECA (COBERT)	DIFER. (mm)
12/03	4,88	4,69	0,19	08/04	5,02	4,32	0,70
13/03	7,14	5,40	1,74	09/04	s/leit.	4,40	x
14/03	5,52	5,42	0,10	10/04	2,24	2,02	0,22
15/03	5,19	3,72	1,47	11/04	4,69	3,47	1,22
16/03	6,50	s/leit.	x	12/04	4,43	3,20	1,23
17/03	0,66	0,54	0,12	13/04	s/leit.	s/leit.	x
18/03	5,28	3,64	1,64	14/04	3,70	2,98	0,72
19/03	3,07	2,42	0,65	15/04	2,14	3,07	0,93
20/03	5,24	2,66	2,58	16/04	4,20	3,06	1,14
21/03	5,14	4,88	0,26	17/04	s/leit.	3,77	x
22/03	4,55	3,83	0,72	18/04	4,56	3,45	1,11
23/03	s/leit.	3,06	x	19/04	2,34	2,09	0,25
24/03	3,28	3,50	0,22	20/04	s/leit.	0,90	x
25/03	2,50	1,08	1,42	21/04	2,89	s/leit.	x
26/03	4,85	s/leit.	x	22/04	2,78	2,24	0,54
27/03	4,89	2,50	2,39	23/04	0,60	0,88	0,28
28/03	2,43	1,95	0,48	24/04	4,18	3,02	1,16
29/03	s/leit.	1,51	x	25/04	1,15	1,09	0,06
30/03	2,62	4,00	1,38	26/04	1,82	1,46	0,36
31/03	6,21	5,92	0,29	27/04	4,50	2,37	2,13
01/04	4,80	s/leit.	x	28/04	3,16	1,48	1,68
02/04	4,81	2,98	1,83	29/04	3,04	2,20	0,84
03/04	4,39	4,15	0,24	30/04	3,70	2,74	0,96
04/04	5,06	3,81	1,25	01/05	4,76	s/leit.	x
05/04	3,79	3,20	0,59				
06/04	4,70	4,78	0,08			Média =	0,94
07/04	3,92	2,06	1,86			D.P. =	0,689

As coberturas tinham a dimensão de 6,2m x 40,0m e 6,4 x 43,2m.

A construção da cobertura 1 foi feita com módulos formados por dois suportes em barra de ferro (4") e interligados com parafusos através de um arco feito com tubo de ferro (3/4"). Os suportes foram enterrados no solo de maneira que ficassem com uma inclinação aproximada de 90° com a superfície do solo, deixando um espaço livre de 2,80m do

solo ao ponto mais alto do arco.

Para a cobertura 2, os módulos formados pelos dois suportes de tubo de ferro (2") foram interligados com solda através de um arco feito com tubo de ferro (3/4"). Esses suportes quando enterrados no solo mantiveram uma inclinação de 60° com a superfície do solo, deixando um espaço livre de 2,50m do solo ao ponto mais alto do arco.

Uma visão detalhada das dimensões e construção das coberturas pode ser observada nas figuras 1, 2 e 3.

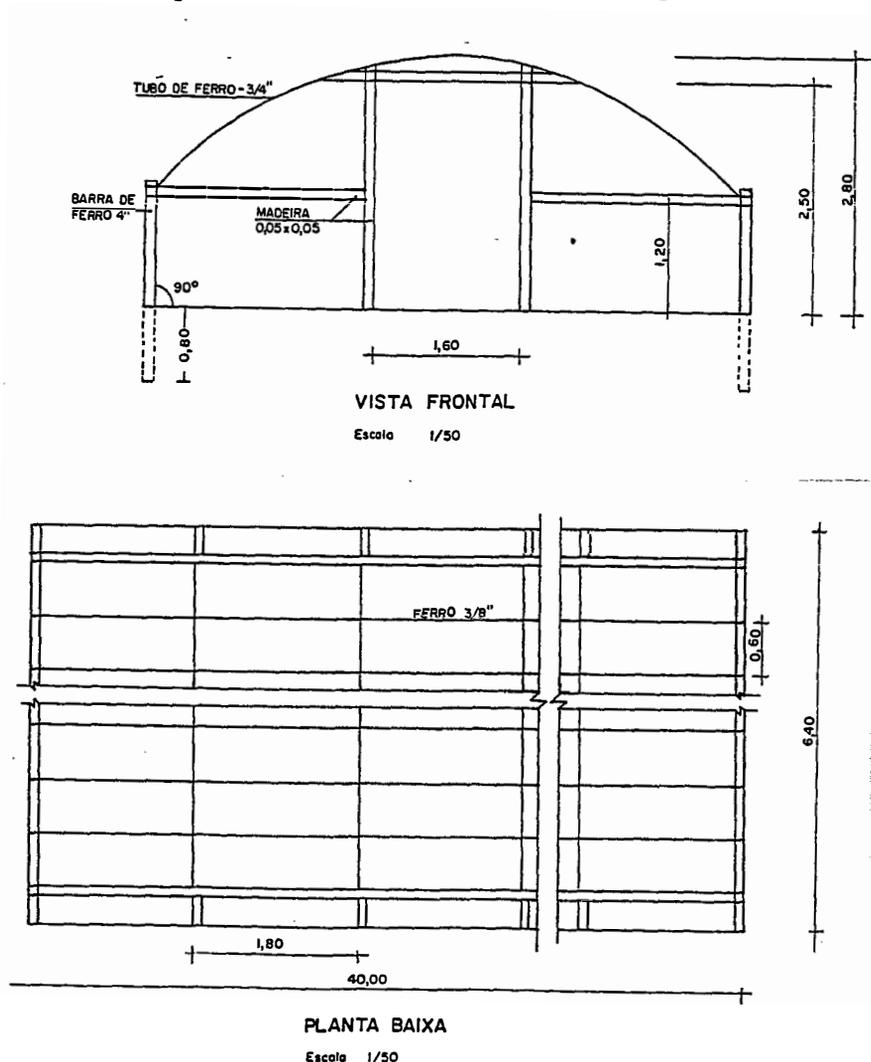


Figura 1 - Dimensões e detalhes da cobertura móvel 1.

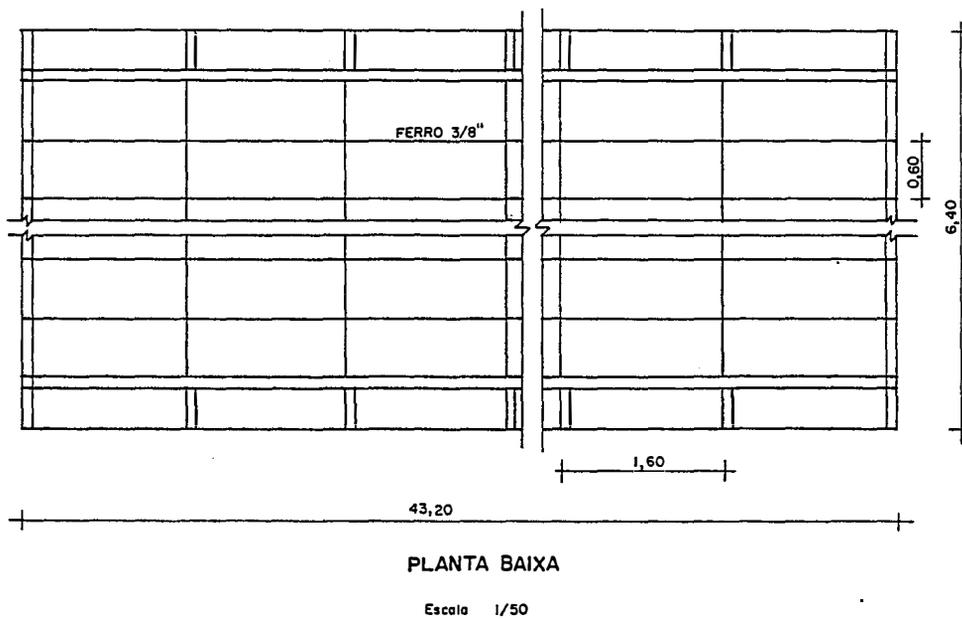
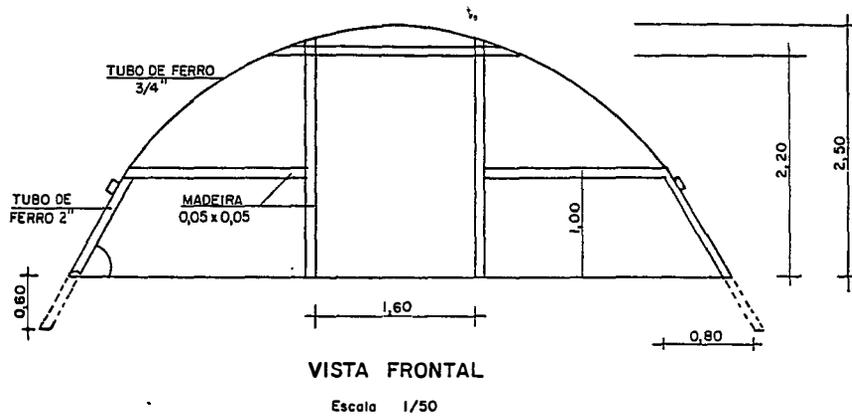


Figura 2 - Dimensões e detalhes da cobertura móvel 2.



Figura 3 - Cobertura móvel 1 e 2.

Os módulos foram assentados a uma distância de 1,80m e 1,60m um do outro, respectivamente, para as coberturas 1 e 2. Sobre os arcos foram fixadas barras de ferro (3/8") e sarrafos de madeira com amarrações de arame, visando garantir a estabilidade longitudinal às coberturas e melhor suporte para os plástico. Este, por sua vez, era estendido sobre a estrutura no sentido transversal, sendo esticado até o nível do solo.

Nas partes da cobertura próximas ao solo foram colocadas ripas de madeira a fim de que, quando o plástico fosse descido, pudesse ser amarrado a pequenas estacas enterradas no solo, para que não houvesse remoção com o vento.

Quanto à forma circular da casa de vegetação,

isto se deveu a maior resistência oferecida ao vento e à facilidade no escoamento da água das chuvas.

3.4. Cultura e tratos culturais

A cultura estudada foi a berinjela (*Solanum melongena* L.), cultivar embu.

O espaçamento utilizado foi 0,80m entre linhas e 1,00m entre plantas, sendo seis plantas por parcela, representando uma densidade de plantio de 12.500 plantas/ha, dentro da faixa de valores recomendada pela Agrocere¹⁰ para essa cultivar (11.111 a 16.666 plantas/ha). Esta referência trata-se de recomendação das mais recentes específicas para a cultivar.

A semeadura foi feita em caixas de madeira com solo preparado no dia 10/12/91, a aproximadamente 0,05m da superfície do solo da caixa.

Após trinta e sete dias da semeadura, quando as plantas já se encontravam com quatro folhas, foi realizado o transplante para o campo.

Para o plantio foi cuidadosamente observada a padronização das mudas entre tratamentos, desprezando aquelas que apresentassem características morfofisiológicas muito distintas. Após o plantio, foram feitas as irrigações necessárias ao manejo da cultura até o dia 19/02/92, quando

¹⁰AGROCERES IMP. EXP. IND. e COM. LTDA. São Paulo, correspondência pessoal. 1993.

foi dada uma irrigação suficiente para levar o solo à capacidade de campo e iniciar os tratamentos de estresse hídrico.

No preparo da área foi utilizada enxada rotativa, sendo incorporada uma adubação de rotina no momento do plantio.

As adubações de cobertura foram duas conforme é recomendado para a cultura, sendo a primeira sete (7) dias após o transplante das mudas para o campo e a segunda aos quarenta e um (41) dias, ambas na dosagem de 5 gramas de uréia por cova.

No quarto (4º) dia após o transplante foi feita uma aplicação do fungicida Dacomil para prevenção de "Alternaria" e, no sexto (6º) dia, uma aplicação de Decis para prevenção da ação de inseto mastigador (coleoptero).

Aos trinta e dois e aos quarenta dias após o plantio pulverizou-se as plantas com Malatol, na dosagem de 1cc/5l, para combater infestação de "vaquinha".

Para manter a cultura livre de plantas daninhas foram feitas quatro capinas manuais.

3.5. Delineamento experimental

O experimento foi delineado originariamente prevendo-se um esquema de tratamentos proposto por DOORENBOS e KASSAM (1979), no qual seriam impostas deficiências hídricas em quatro períodos fenológicos, a saber :

vegetativo, abertura de gema floral, início de frutificação e formação de frutos e colheita. A figura 4 mostra o esquema previsto, com dezesseis (16) tratamentos que permitiriam a imposição de deficiências em um, dois e três períodos, de forma combinada, com um tratamento testemunha (sem estresse em nenhum dos períodos) e um tratamento com estresse hídrico contínuo ao longo do ciclo, para dois níveis de água indicados na figura como 1 e <1.

O nível 1 significa período sem deficiência hídrica, ou seja, com o solo mantido na umidade próxima à capacidade de campo, e, <1, com deficiência.

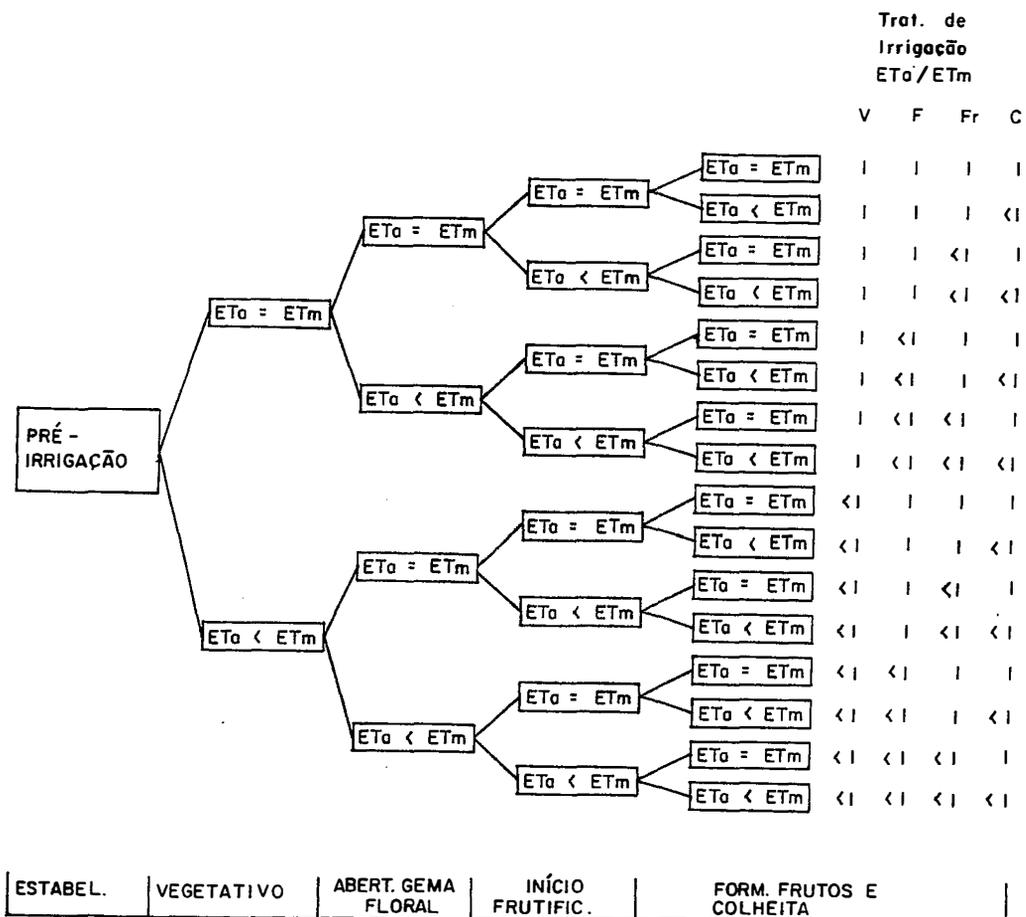
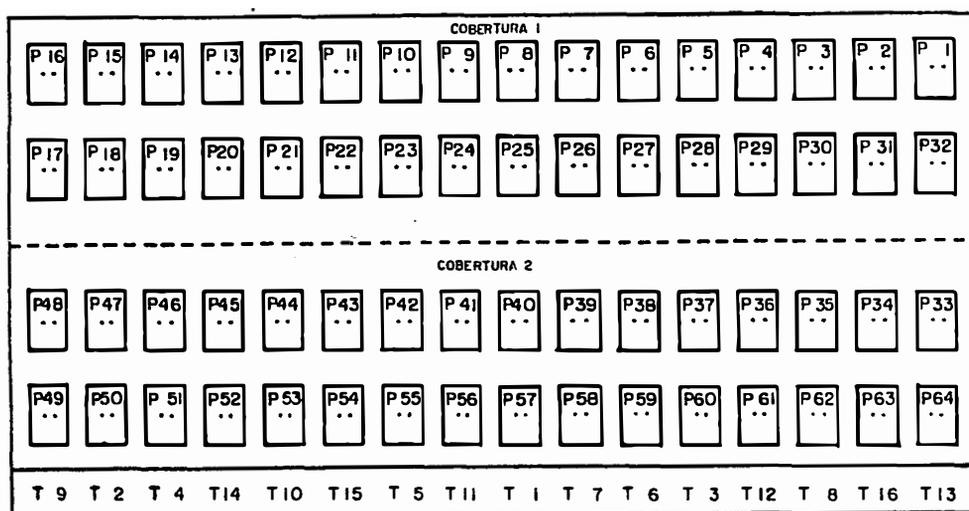


Figura 4 - Esquema dos tratamentos adotados.

Considerou-se, inicialmente, que a área era uniforme sob o ponto de vista físico-químico, adotando-se um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições (e portanto, sessenta e quatro parcelas) mantidas sempre no mesmo local, sendo duas na área com a cobertura denominada de 1 e duas na cobertura 2.

A área de cada parcela foi $4,80\text{m}^2$ ($2,40 \times 2,00\text{m}$) e área útil total ocupada pelo experimento 307m^2 . A figura 5 mostra a distribuição das parcelas e tratamentos durante o período vegetativo.



.. Tensiômetro

Figura 5 - Esquema geral das parcelas e tratamentos na área (exemplificado para o período vegetativo).

Os períodos fenológicos foram caracterizados da seguinte maneira : **vegetativo** - quando 50% das plantas da parcela apresentassem pelo menos um botão floral; **abertura da**

gema floral - até quando 50% das plantas da parcela apresentassem cada uma pelo menos uma flor aberta; **início de frutificação** - até quando 50% das plantas mostrassem pelo menos um fruto do qual já se desprende a flor; **formação de frutos e colheita** - até quando os frutos atingissem as dimensões aproximadas de 4,50cm de largura e/ou igual ou maior do que 14,00cm de comprimento, quando eram colhidos. Foram realizadas três colheitas, sendo considerada 1ª, 2ª e 3ª colheitas aquelas correspondentes a um, dois e três frutos colhidos por planta por parcela.

3.6. Irrigação

3.6.1. Sistema de irrigação

O método de irrigação utilizado foi o de gotejamento, pretendendo-se à princípio, testar também o seu efeito sobre a produção da cultura conforme sugeriu VIEIRA (1973).

O equipamento constituiu-se de um conjunto moto-bomba, cabeçal de controle, sistema de tubos de polietileno flexível e gotejadores, conforme mostra a figura 6.

A água era captada de um reservatório pelo conjunto moto-bomba e conduzida até o cabeçal de controle por tubulação de polietileno flexível com diâmetro 1 1/4".

O cabeçal era constituído por filtro de areia

e de tela, manômetro e registro. Do cabeçal de controle até o experimento a água era conduzida em tubulação de polietileno flexível com diâmetro de 1", que ao chegar no experimento bifurcou-se em tubulação de polietileno flexível com diâmetro de 3/4".

As tubulações das linhas laterais eram também de polietileno flexível com diâmetro de 1/2" e continham gotejadores TIGRE de vazão 4 l/h, pressão de serviço 115,79 kPa, espaçados de 0,50m.

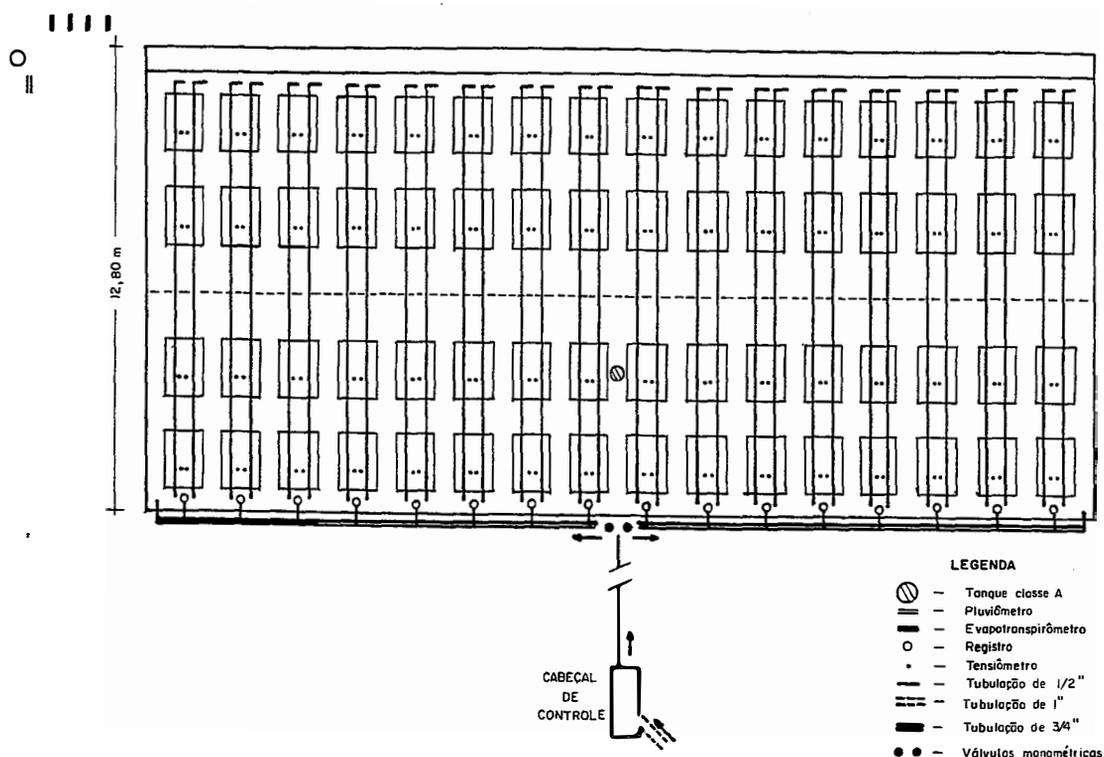


Figura 6 - Esquema geral do sistema de irrigação.

O controle da vazão dos gotejadores era feito constantemente durante a irrigação, amostrando-se o volume de água gotejada por gotejador por tempo, através de proveta, em

pontos iniciais, medianos e extremos de cada uma das duas coberturas. Logo após, calculava-se a vazão média dos gotejadores, a qual foi mantida próximo à vazão referencial (4 l/h). Deve-se salientar que a diferença entre os cinco pontos medidos nunca ultrapassou 10%.

A distância aproximada de 15cm entre gotejadores e colo da planta foi em função da recomendação de VIEIRA (1973) visando melhorar a capacidade de exploração do sistema radicular e conseqüentemente, da produção.

3.6.2. Critério de irrigação

Os níveis de água ministrados foram dois (2): 100% de **E_{tm}**, ou seja, os tratamentos eram irrigados sempre que cerca de 50% dos tensiômetros pertencentes aos tratamentos irrigados, instalados a 15cm de profundidade do solo, atingiam a tensão máxima de cerca de **-0,01 MPa**, e, para os tratamentos em deficiência, a irrigação era feita sempre que a evapotranspiração real (**E_{ta}**) média do período de estresse hídrico fosse igual a aproximadamente 50% da evapotranspiração máxima (**E_{tm}**) média do mesmo período.

A lâmina de água aplicada era calculada com os valores de **E_{ta}** médios estimados no intervalo de tempo decorrido da última irrigação até quando **E_{ta}** tornava-se próxima a 50% de **E_{tm}**, o que representava uma tensão de no máximo **-0,075 MPa**, e a eficiência de irrigação foi assumida como 85%, conforme mostra a equação a seguir:

$$L = \bar{E}ta \times T \times Ef. \text{ irrigação} \quad (6)$$

sendo:

- L** = lâmina de água aplicada (mm);
- Eta** = evapotranspiração real média (mm) estimada no intervalo de tempo em que não houve irrigação;
- T** = intervalo de tempo (dias) que a cultura permaneceu sem irrigação;
- Ef. Irrigação** = eficiência de irrigação máxima do sistema(%);

O número de 50% dos tensiômetros existentes num certo tratamento foi adotado como referência em função da desuniformidade muito grande ocorrida entre períodos fenológicos das plantas de um mesmo tratamento (repetições), permitindo assim uma padronização das irrigações em cada período. Além disso, o registro que controlava a entrada de água no sistema de irrigação não permitia que a irrigação fosse feita por parcela, mas sim nas quatro parcelas pertencentes a um mesmo tratamento.

Esse critério de irrigação utilizado produziu um número de irrigações igual a 16 nos tratamentos sem estresse, sendo estas numa frequência entre 3 a 5 dias. Para os tratamentos em estresse hídrico, o número de irrigações foi 6 numa frequência que variou de 5 a 16 dias.

Os tensiômetros foram instalados em cada repetição de cada tratamento, nas profundidades de 15 e 30cm

da superfície do solo, sendo as leituras diárias e a retirada de ar do seu interior através da colocação de água a cada dois dias. A escolha prévia dessas profundidades foi feita em função dos dados de profundidade do sistema radicular da berinjela citados por VIEIRA (1973).

Em função da importância dos valores de profundidade efetiva do sistema radicular (Z_e) para a estimativa da CAD, promoveu-se uma avaliação dessa profundidade média escavando-se ao redor de três plantas sorteadas ao acaso na área externa às parcelas, visto que as parcelas possuíam um número pequeno de plantas.

Os referenciais de medida foram o colo da planta até onde visualmente, encontrava-se a maior concentração de raízes principais e secundárias.

Os valores de profundidade efetiva do sistema radicular encontrados foram 17,00cm (até 24/02/92); 19,00cm (até 08/03/92); 20,00cm (até 04/04/92) e 24,00cm (até 28/04/92), mostrando uma pequena diferença do valor informado por VIEIRA (1973).

Por ocasião da queda parcial da estrutura da cobertura de uma das casas com a elevada altura pluviométrica ocorrida, amostrou-se também os sistemas radiculares de duas plantas destruídas dentro das parcelas, verificando uma diferença de cerca de 5cm a menor em relação àquelas amostradas no exterior. As suas raízes secundárias eram em número bem maior e concentradas na camada mais superficial, sugerindo um desenvolvimento em direção aos gotejadores.

Portanto, pode ter ocorrido algumas diferenças entre os valores de profundidade efetiva do sistema radicular das plantas amostradas e aquelas pertencentes aos tratamentos estudados, que não foram possíveis de serem detalhadas.

Com essas avaliações da profundidade efetiva do sistema radicular, optou-se por tomar os dados dos tensiômetros a 15cm de profundidade da superfície do solo como básicos para a estimativa da variação de água no solo ocorrida durante o ciclo da cultura.

3.7. Cálculo da evapotranspiração

A evapotranspiração máxima (E_{tm}) foi estimada em função da expressão :

$$E_{tm} = K_c \cdot E_{to}(mm) \quad (7)$$

onde

E_{to} = evapotranspiração de referência;

K_c = coeficiente de cultura.

Como DOORENBOS e KASSAM (1979) não apresentam dados para a cultura da berinjela, assumiu-se os valores de coeficiente de cultura referentes à cultura de comportamento fisiológico mais semelhante (pimentão), sendo os valores utilizados :

0,40 (até 20/02/92)	fase pós-transplante e parte
0,60 (até 24/02/92)	do período vegetativo

0,80 (até 08/03/92)	fase de plena cobertura do
0,90 (até 17/03/92)	solo incluindo florescimento

1,00 (até 27/03/92)	fase de formação de frutos e
0,85 (até 02/05/92)	colheita

A diferença entre os valores de K_c adotados e aqueles apresentados por DOORENBOS e KASSAM (1979) para o pimentão é decorrente de ajustes promovidos em função dos valores de E_{tm} medidos na área com os evapotranspirômetros de lençol freático a nível constante, ou seja, com esses dados e aqueles do tanque classe A eram estimados valores de coeficiente de cultura, sendo que com os dados do tanque estimava-se primeiramente a evapotranspiração de referência ($E_{To} - mm$), conforme mostra a equação :

$$E_{To} = K_p \cdot ECA \quad (8)$$

sendo

K_p = coeficiente do tanque Classe A, tabelado em função da velocidade do vento (2m), umidade relativa do ar e bordadura do tanque;

ECA = evaporação do tanque Classe A (mm) instalado na área.

Portanto, os dados básicos de evapotranspiração

foram tomados pelo tanque Classe A existente no Posto Meteorológico, sendo utilizado aquele existente na área experimental (fora da área das coberturas) e os evapotranspirômetros para efeito de comparação com os dados referenciais do Posto Meteorológico, o qual encontrava-se a uma distância de aproximadamente 500m da área de estudo.

Os evapotranspirômetros, por sua vez, não foram empregados como referência porque não forneciam leituras continuamente (havia períodos de 2 a 3 dias sem leituras), além de dois dos quatro evapotranspirômetros não apresentarem leituras consistentes a partir do início da frutificação.

Para a estimativa da evapotranspiração real (**Eta**) empregou-se o modelo proposto em DOORENBOS e KASSAM (1979), pelo qual **Eta** é igual à **Etm** até se esgotar uma fração **p** de água no solo, denominada de água prontamente disponível. A partir desse limite, para valores decrescentes do armazenamento de água no solo ocorre uma variação linear de **Eta** em função do tempo, conforme a equação :

$$\bar{E}ta = \frac{CAD}{T} \left[1 - (1 - p) \cdot \exp \frac{-\bar{E}tm \cdot T}{(1 - p) \cdot CAD} + \frac{p}{(1 - p)} \right] \quad (9)$$

onde

Eta (mm) é, na verdade um valor médio de um curto período obtido através de um valor médio de **Etm**.

Os valores de fração de água prontamente disponível empregados foram baseados em DOORENBOS e KASSAM (1979), considerando os mesmos critérios adotados para o

coeficiente de cultura.

A **CAD** (Capacidade de Água Disponível-mm) foi calculada pela equação :

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{FMP}) \cdot Ze \quad (10)$$

onde

θ_{cc} = umidade do solo na capacidade de campo (cm^3/cm^3);

θ_{FMP} = umidade do solo no ponto de murcha permanente (cm^3/cm^3), ambos definidos no item 3.1.1.;

Ze = profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

3.8. Tratamentos efetivamente impostos

Os tratamentos originariamente previstos não foram obtidos pelas seguintes razões :

- a - a variabilidade espacial das propriedades físicas do solo, principalmente da densidade global (ver tabela 2, item 3.1.1.) na área das parcelas foi acentuada;
- b - a delimitação dos períodos fenológicos foi muito variada dentro das plantas pertencentes a uma mesma parcela e dentro do mesmo tratamento, o que dificultava o estabelecimento do início e final de cada período e, portanto, a ocorrência dos diferentes níveis de estresse hídrico dentro deles;
- c - o período de duração da fase de abertura de gema floral foi muito reduzido, dificultando a imposição de estresses dentro dele;

d - foi difícil impor níveis de estresses comparáveis entre as repetições devido a variabilidade espacial existente e ao critério de irrigação utilizado não ter adotado frequências e lâminas de irrigação uniformes nos diferentes períodos e, também, porque a estimativa de **E_t** média através da equação proposta por DOORENBOS e KASSAM (1979) provocava superestimativa dos valores e não individualizava parcelas.

Dessa forma, a análise dos dados de disponibilidade hídrica no solo a serem mostrados nos RESULTADOS e DISCUSSÃO reforçaram a hipótese de que não seria possível utilizar os resultados para obtenção das relações quantitativas entre produção e deficiência hídrica no solo nos diferentes períodos, a não ser que fosse feita uma seleção das parcelas que sofreram algum tipo de estresse, o que culminou com o abandono do delineamento original e a adoção dos seguintes grupos de parcelas, que passaram a representar novos tratamentos :

- 1 - **parcelas que não receberam estresse hídrico** : n°. 1, 4, 5, 7, 8, 10, 13, 14, 25, 40, 54, 57 e 59;
- 2 - **parcelas que receberam estresse hídrico no período vegetativo** : n°. 44, 17, 24, 21, 41, 16 e 48;
- 3 - **parcelas que receberam estresse hídrico no início da frutificação** : n°. 20, 22, 45, 26, 55, 23, 43, 56 e 34;
- 4 - **parcelas que receberam estresse hídrico na formação dos frutos e colheita** : n°. 46, 42, 29, 47, 19, 12 e 37.

Para a seleção dessas parcelas empregou-se três

critérios :

- a - nível de estresse hídrico atingido;
- b - período fenológico em que o estresse hídrico ocorreu;
- c - relação do nível de estresse hídrico com a produção relativa obtida. Assumiu-se que não houve ocorrência de déficit hídrico em determinado período quando os valores evapotranspiração relativa (E_{ta} / E_{tm}) estiveram na faixa de 0,92 a 0,99, critério esse adotado pelo fato de que as produções para as parcelas que apresentaram esses valores de evapotranspiração relativa estiveram muito próximas do valor de produção adotado como máximo.

Como o período de abertura de gema floral foi muito reduzido, ao invés de quatro períodos fenológicos utilizou-se apenas três unindo, dessa forma, os períodos de abertura de gema floral e início de frutificação.

Outra questão importante foi aquela discutida no item C acima citado, onde ao comparar os níveis de estresse hídrico sofrido e a produção relativa percebeu-se certa incoerência trazida por fatores como : crescimento vegetativo exagerado em detrimento do crescimento reprodutivo; problemas de crescimento e desenvolvimento das plantas das parcelas que se encontravam no início de uma das coberturas, por motivos não totalmente explicáveis; regiões onde ocorreram infiltrações verticais ou infiltrações laterais advindas de chuvas intensas ocorridas no período. Tais fatores originaram dados de produção visivelmente incoerentes com o grau de estresse observado, de modo que as

parcelas correspondentes foram desprezadas.

3.9. Caracterização do nível de estresse hídrico

Para a caracterização do nível de estresse hídrico atingido pela cultura nas diferentes parcelas empregou-se a relação média, no período de três dias, entre a água disponível (**AD**) e a capacidade de água disponível (**CAD**) do solo, sendo **AD** estimada pela equação :

$$AD = (\theta_a - \theta_{PMP}) \cdot Ze \quad (11)$$

onde

θ_a = umidade atual do solo (cm^3/cm^3);

θ_{PMP} = umidade do solo no ponto de murcha permanente (cm^3/cm^3);

Ze = profundidade efetiva do sistema radicular.

Como os parâmetros envolvidos na determinação da **CAD** trazem neles subentendido um percentual de erros para a sua determinação e estimativa, mesmo sabendo da pequena variação existente durante o ciclo, onde os valores adotados foram 18mm(até 25/02), 20mm (16/03), 21mm (6/04) e 24mm até o final do ciclo, optou-se por empregar o valor único de 21 mm.

Através do parâmetro **AD / CAD** foi calculado também um índice de estresse hídrico no solo de cada parcela, definido por :

$$IEH = \left[(1 - p) - \frac{\bar{AD}}{CAD} \right] \cdot N \quad (12)$$

válido para a condição

$$1 - p \geq \frac{\bar{AD}}{CAD}$$

onde

IEH = índice de estresse hídrico no solo;

(1-p) = fração de água no solo não prontamente disponível para o período;

$\frac{\bar{AD}}{CAD}$ = relação média, no período, entre a água disponível e a capacidade de água disponível;

N = número de dias em que ocorreu o estresse hídrico.

Ressalta-se aqui que os critérios de seleção das parcelas utilizadas para a estimativa do referido índice foram os mesmos daqueles empregados para selecionar as parcelas que estabeleceram a relação quantitativa entre déficit de produção e de evapotranspiração relativa.

Na avaliação do grau de estresse adotou-se, também, o déficit de evapotranspiração relativa, calculado através da equação :

$$DEV_{REL} = 1 - \frac{Eta}{Etm} \quad (13)$$

onde

Eta = evapotranspiração real;

Etm = evapotranspiração máxima.

Outro parâmetro utilizado para caracterizar o estresse hídrico no solo foi o potencial matricial médio por parcela (a cada três dias), calculado a partir dos dados de tensiometria.

3.10. Relações quantitativas entre produção e disponibilidade hídrica no solo

Essas relações foram estabelecidas através de análise de regressão entre a produção e cada um dos índices de estresse usado. Para isso foi utilizada a produção das três primeiras colheitas, considerando como produção potencial o maior valor de produção obtido nas parcelas sem estresse hídrico, uma vez que não havia referências na literatura.

No caso da relação com déficit de evapotranspiração relativa ($1 - E_{ta} / E_{tm}$), testou-se o ajuste por equação de regressão linear para cada período (vegetativo, abertura de gema floral - início de frutificação e formação de frutos e colheita) considerando a proposição do modelo de DOORENBOS e KASSAM (1979). O coeficiente angular dessa equação representa o fator de sensibilidade da cultura ao déficit (K_y), definido em DOORENBOS e KASSAM (1979).

Tendo em vista que a determinação de E_{ta} através da equação 9, em função de p e CAD não se mostrou adequada para esse tipo de análise, pois estima a evapotranspiração média dos tratamentos e não de cada

parcela, adotou-se o critério de estimar **Eta** a partir do balanço hídrico no solo para cada parcela utilizada.

O balanço foi calculado para os períodos em que os valores de **Eta / Etm** estavam, com certeza, refletindo a condição de água não prontamente disponível no solo. Através da análise dos dados verificava-se que, em média, cerca de cinco a seis dias após a irrigação o cálculo poderia ser começado, assumindo-se que a fração de água prontamente disponível tinha sido esgotada. Assim, no período que vai desde esse dia de entrada na faixa de água não prontamente disponível até aquele da próxima irrigação, a drenagem profunda ou a ascensão capilar bem como o escoamento superficial eram desprezíveis. Desse modo, o balanço hídrico nesses períodos pode ser simplificado considerando-se que toda a evapotranspiração desse período é dada, aproximadamente, pela variação do armazenamento da água no solo.

3.11. Determinação da produção e parâmetros de crescimento e desenvolvimento

3.11.1. Produção de frutos

Os frutos foram colhidos individualmente, por planta, pesados, contados e classificados em três grupos até a terceira (3ª) colheita conforme mostra a figura 7.



Figura 7 - Classificação dos frutos por grupos de acordo com a qualidade.

Os grupos são: I) **Frutos bons**- aqueles que não apresentavam nenhum defeito (perfuração por inseto ou ataque de ácaros); II) **Frutos defeituosos**- aqueles que apresentavam pequenas perfurações provenientes de ataque de insetos ou manchas de ácaros que se estendiam da base ao restante do fruto; III) **Frutos totalmente defeituosos**- ou seja, frutos deformados no formato e na cor devido principalmente ao ataque de ácaros, tornando-os não aceitáveis para comercialização.

Para diferenciar a quantidade de colheitas realizadas numa mesma planta amarrava-se nos seus ramos um número de plástico correspondente ao número de frutos colhidos visto que, no critério adotado, o número de frutos colhidos por planta correspondia ao número de colheitas que

essa havia produzido.

O momento de colheita ocorria quando o fruto atingia comprimento igual ou maior do que 14,00cm e diâmetro maior ou igual a 4,50cm, sendo estes dados próximos àqueles recomendados por GROPPPO e TESSARIOLI NETO (1987). As pequenas diferenças são provenientes das diversas práticas culturais predominantes e da aceitação do produto para comercialização dentro dessa época de plantio, conforme informações pessoais de Minami¹¹.

3.11.2. Número de folhas

Determinado aos 34, 57 e 88 dias após o transplante das mudas para o campo, através da contagem do número total de folhas de duas a três plantas por parcelas, dependendo da uniformidade das plantas da parcela de cada tratamento, estimando-se através desses um valor médio final.

3.11.3. Comprimento de plantas

Como as plantas não permaneceram totalmente eretas, optou-se por medir o seu comprimento ao invés da sua altura, utilizando para isso um barbante, estendido desde o colo da planta até o ápice do ramo que possuísse o seu par de folhas mais novo.

¹¹ MINAMI, K. Comunicação Pessoal.1993.

As medidas foram feitas aos 35, 59 e 89 dias após o transplante das mudas para o campo, também em duas a três plantas por parcela, dependendo da uniformidade das plantas da parcela de cada tratamento, obtendo-se a média desses valores para efeito de comparação dos resultados entre parcelas.

3.11.4. Número de flores

A intervalos de vinte e um dias (59, 80 e 101 dias após o transplante das mudas para o campo) foi feita a contagem do número de flores em três plantas de cada parcela sorteadas ao acaso, considerando como flor aquela que estivesse totalmente aberta. Através desses dados foi estimado um valor médio do número de flores por planta.

3.11.5. Número de frutos

A cada vinte e um dias também foi feita a contagem dos frutos, considerando como fruto formado aquele que já tivesse soltado do seu ápice a flor seca.

A exemplo do número de flores, o número de frutos também era contado em três plantas de cada parcela, sorteadas ao acaso, geralmente as mesmas onde contava-se o número de flores. Do mesmo modo, também estimou-se um valor médio do número de frutos por planta.

3.11.6. Relações entre crescimento, desenvolvimento e disponibilidade hídrica

À princípio, relacionou-se através de análise de regressão linear os índices de estresses adotados (**IEH** e **DEV_{REL}**) com o número de folhas, comprimento de plantas, número de flores e de frutos e percentagem de frutos defeituosos (grupo 2).

Em seguida, testou-se também outros tipos de análises de regressões a fim de verificar qual a função matemática que poderia explicar o comportamento fisiológico da cultura.

Além disso, também tentou-se estabelecer essas relações entre duração de cada período fenológico e índices de estresse.

Avaliou-se, ainda as relações entre esses parâmetros de crescimento e desenvolvimento e a produção, empregando as análises de regressões comentadas. Nesse caso, como nos demais, sempre foi analisado cada grupamento de parcelas que sofreram estresse hídrico nos períodos vegetativo, início de frutificação e formação de frutos e colheita e também aquelas que não sofreram estresse.

3.11.7. Densidade de raízes

Para tentar explicar a variabilidade de produção existente entre parcelas, amostrou-se também o

sistema radicular das plantas pertencentes a algumas delas, uma vez que o número de parcelas era muito grande e o material escasso, acreditando que a amostragem realizada pudesse fornecer uma visão geral do comportamento das plantas de tratamentos semelhantes.

Como os problemas de variabilidade espacial foram percebidos no decorrer do experimento, realizou-se apenas uma amostragem das raízes das plantas nas parcelas 17, 48, 18, 47, 22, 43, 24, 41, 27, 38, 28, 37, 30, 35, 32 e 33, pois o número de plantas também não era suficiente para que se procedesse a mais amostragens.

As amostragens eram feitas com trado tipo caneca, de 7cm de diâmetro, em uma das linhas dos gotejadores, ou seja, a uma distância aproximada de 15cm do colo da planta, nas profundidades de 15cm e 30cm da superfície do solo.

O volume do trado foi medido com água após vedá-lo com fita adesiva, o que representou um total de 894,32cm³.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas no máximo 72 horas na geladeira. Posteriormente, procedeu-se a lavagem sucessiva do material para separação das raízes, com auxílio de peneiras de 1,5, 1,0 e 0,5mm de abertura, conforme metodologia adotada para feijão por PIRES et al (1990).

As impurezas do solo eram retiradas com pinça bem como as raízes da cultura, as quais eram colocadas para

ir à estufa por 24 horas à temperatura de aproximadamente 75°C, antes da pesagem final.

De posse desses valores de peso seco das raízes e volume de solo ocupado pelo trado estimou-se a densidade de raízes, em grama de raízes por volume (cm^3) de solo.

3.12. Elementos climáticos

Além dos parâmetros anteriormente mencionados mediu-se também a altura pluviométrica na área experimental através de pluviômetro.

A temperatura média e a umidade relativa do ar bem como o vento acumulado eram tomados no Posto Meteorológico da ESALQ.

Os dados de altura pluviométrica bem como evaporação do tanque Classe A coletados diariamente na área experimental eram comparados com o Posto Meteorológico, em especial nos dias de chuvas quando havia problemas com esses valores, considerando o Posto o nosso referencial padrão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O delineamento experimental originariamente previsto não foi obtido, basicamente, porque não foi possível estabelecer frequências e lâminas de irrigação fixas entre repetições e tratamentos. Além disso, a duração dos períodos fenológicos foi muito variada dentro de uma parcela e dentro de um tratamento (entre as diferentes repetições), somado ao fato do período de abertura de gema floral ter sido muito reduzido, conforme pode-se identificar nas figuras 8 a 11. Daí considerar-se os diferentes estresses recebidos pelas parcelas apenas em três períodos fenológicos a saber : vegetativo, início de frutificação que englobou também abertura de gema floral e formação de frutos e colheita. Dessa forma, foram selecionadas as trinta e seis parcelas citadas no item 3.8., cada uma com diferentes graus de déficit, agrupadas pelo período em que esse déficit ocorreu.

4.1. Caracterização das condições hídricas do solo

A caracterização das condições hídricas do solo ao longo do ciclo da cultura através da relação \overline{AD} / CAD e do potencial matricial da água à 15cm de profundidade do solo,

com valores médios a cada três dias, pode ser vista nas figuras 8 a 15.

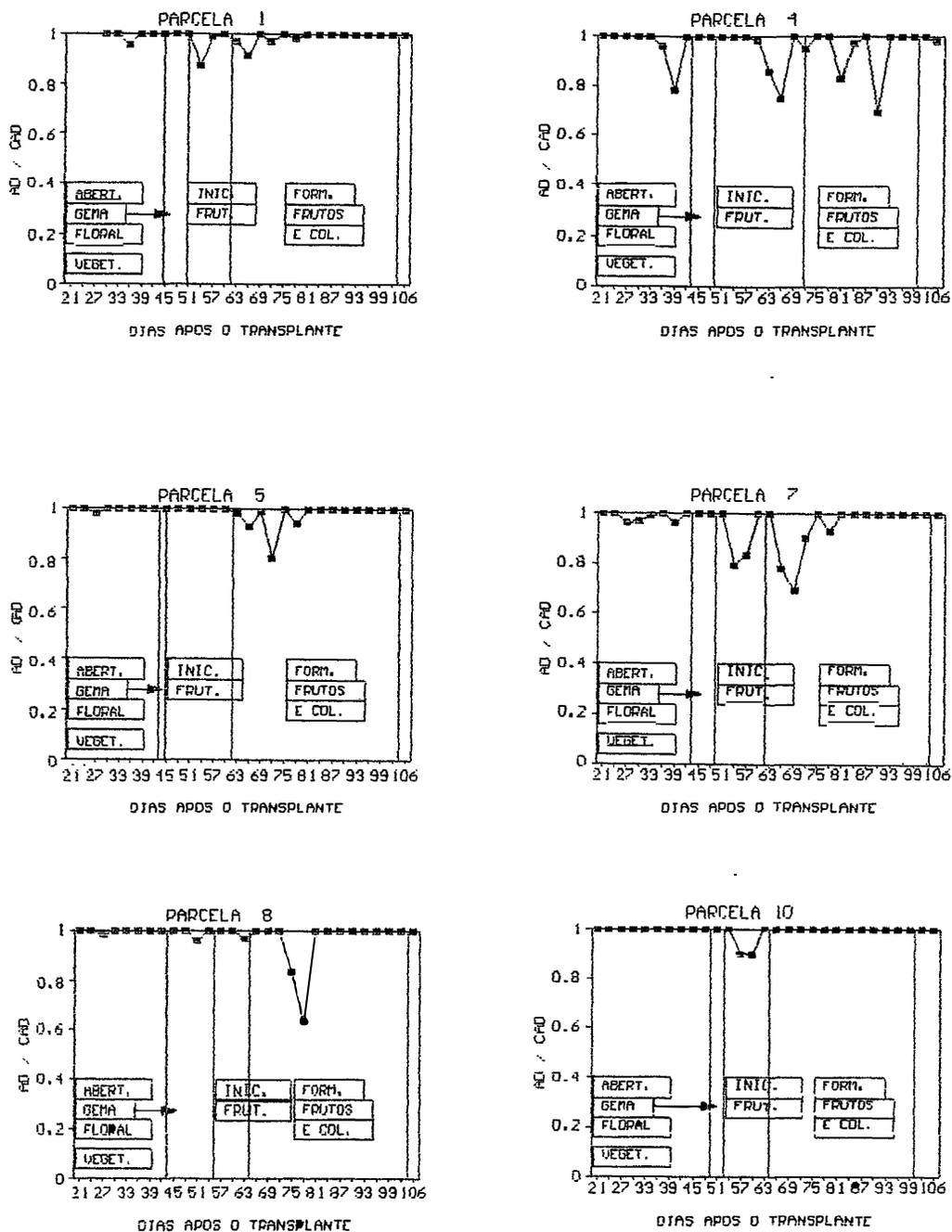


Figura 08 - Evolução da relação AD / CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas sem estresse hídrico.

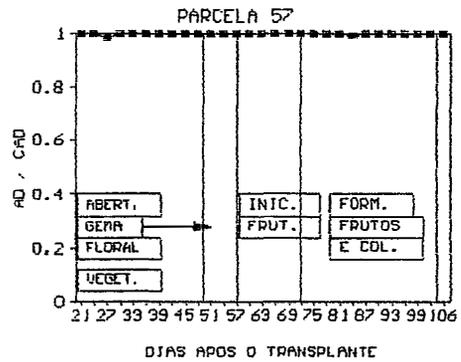
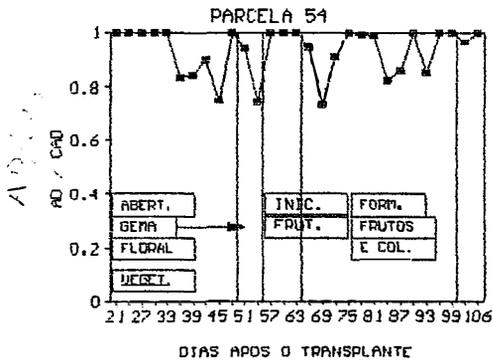
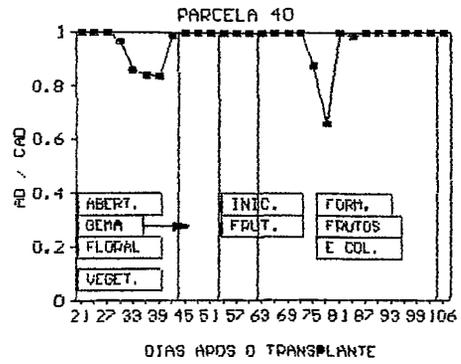
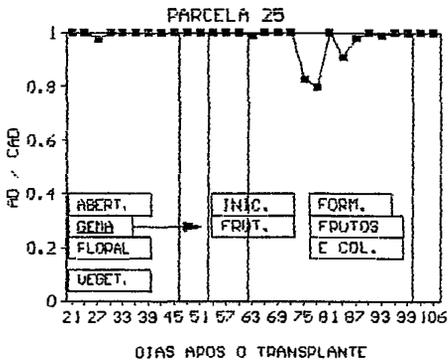
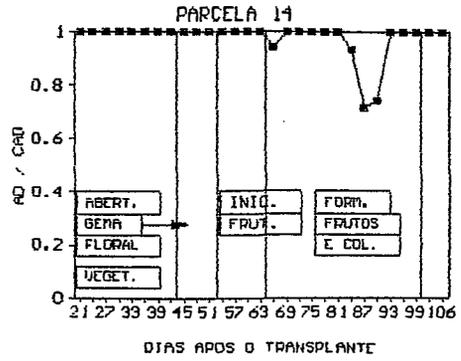
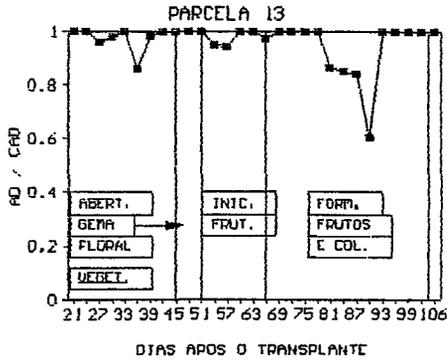


Figura 08 - (continuação) Evolução da relação AD / CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas sem estresse hídrico.

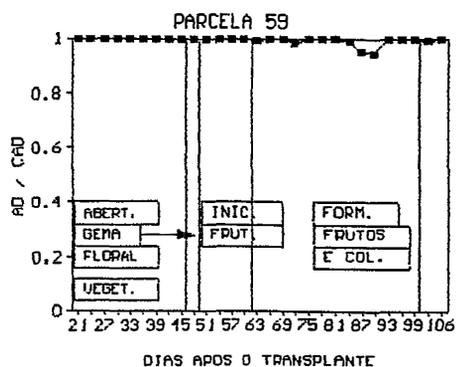


Figura 08 - (continuação) Evolução da relação AD / CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas sem estresse hídrico.

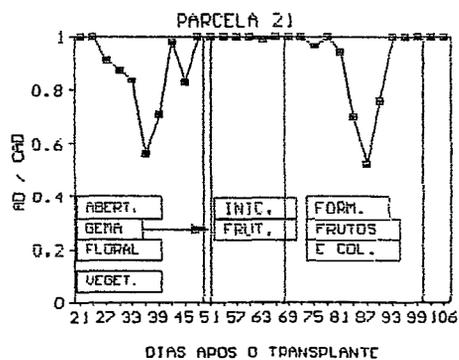
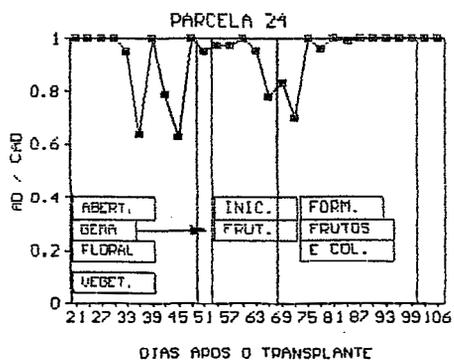
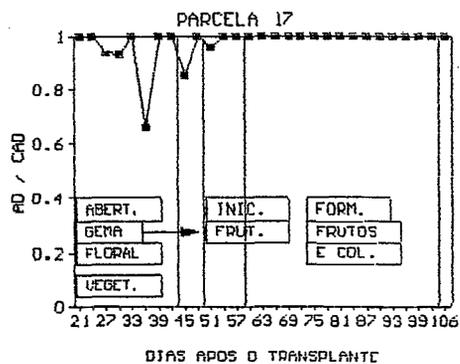
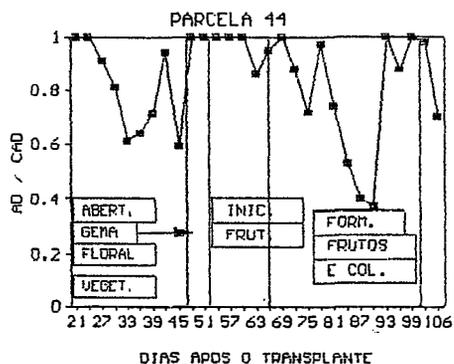


Figura 09 - Evolução da relação AD / CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no período vegetativo.

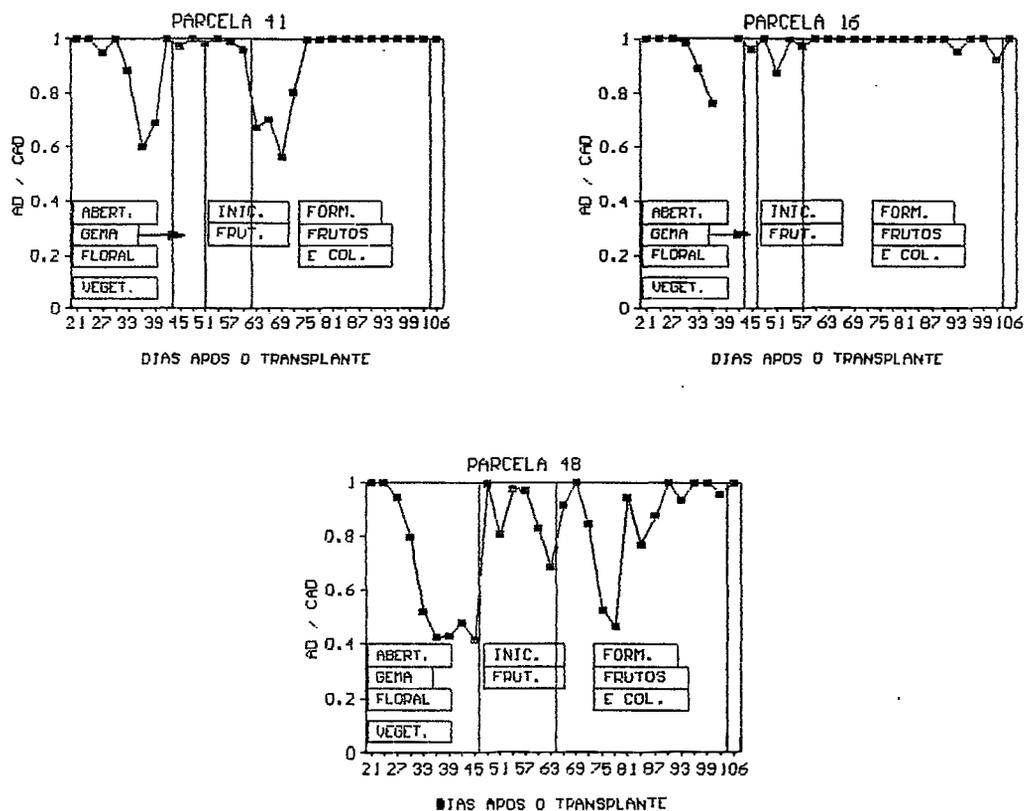


Figura 09 - (continuação) Evolução da relação AD /CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no período vegetativo.

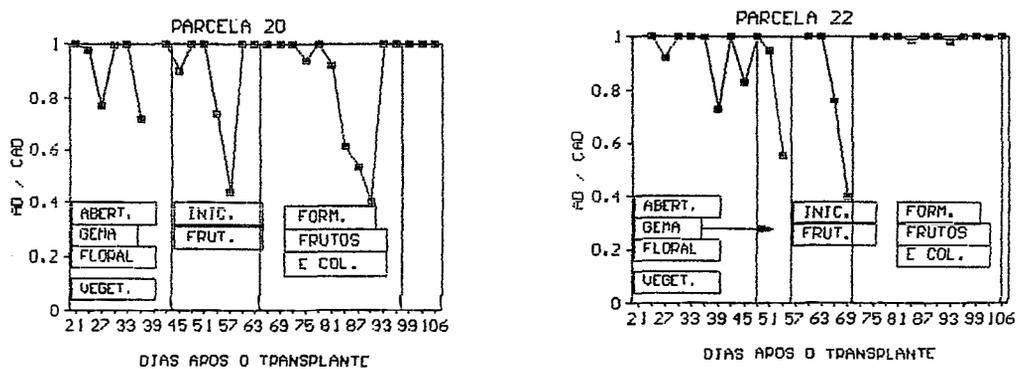


Figura 10 - Evolução da relação AD /CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no início de frutificação

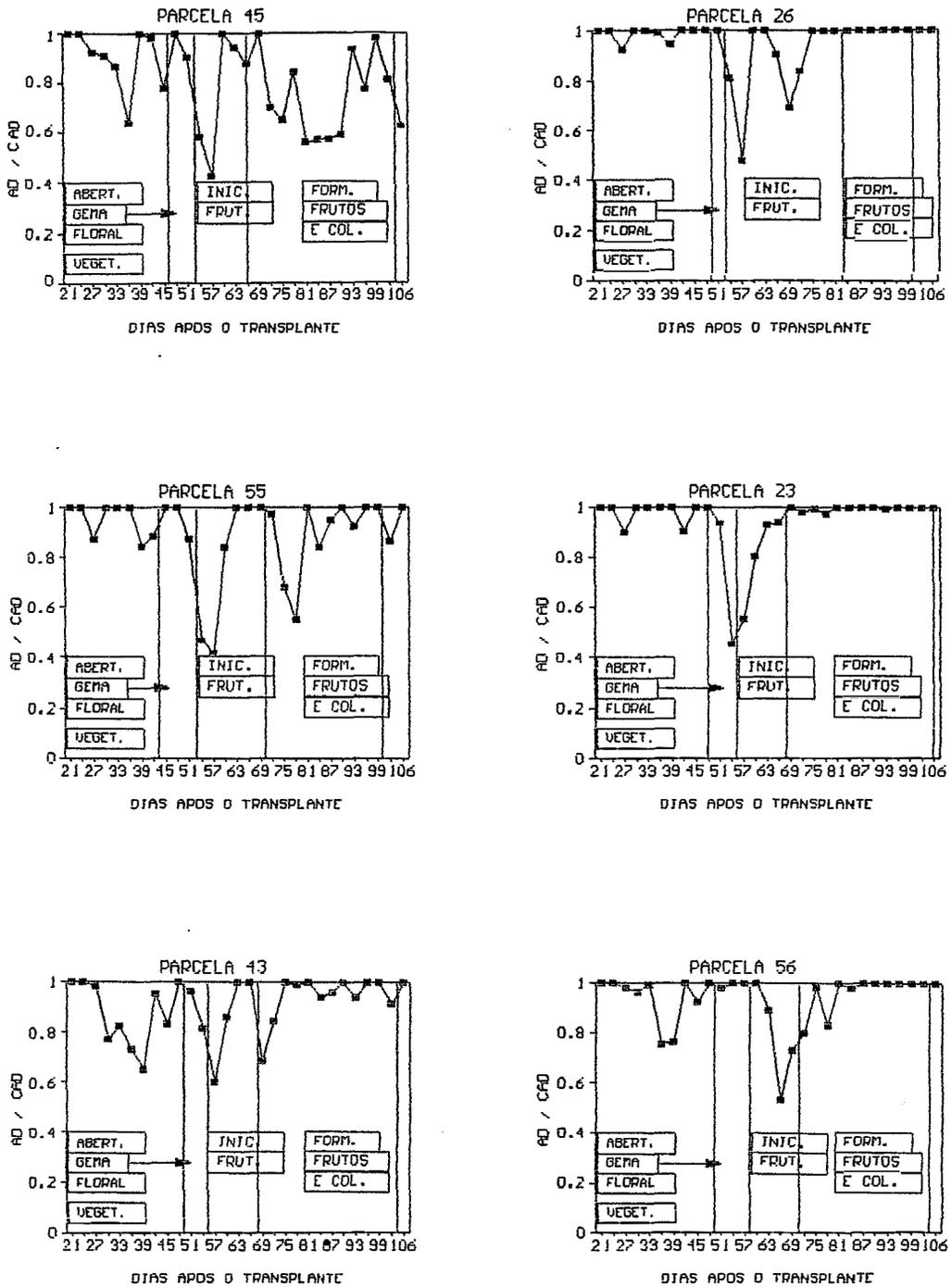


Figura 10 - (continuação) Evolução da relação AD /CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no início de frutificação.

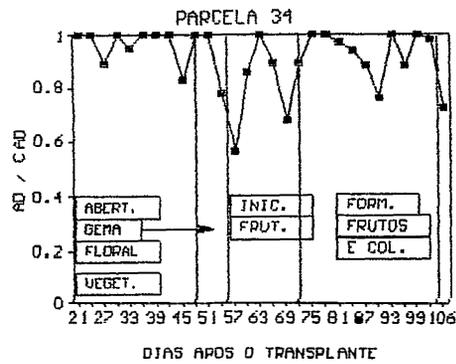


Figura 10 - (continuação) Evolução da relação AD /CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no início de frutificação.

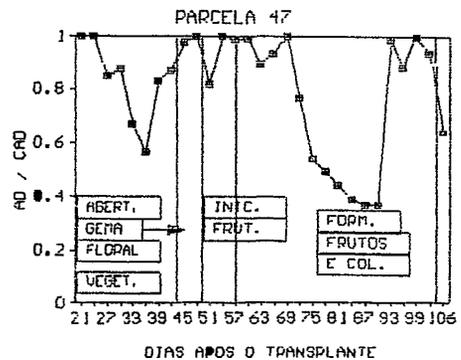
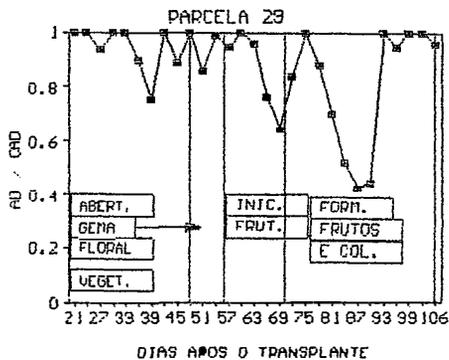
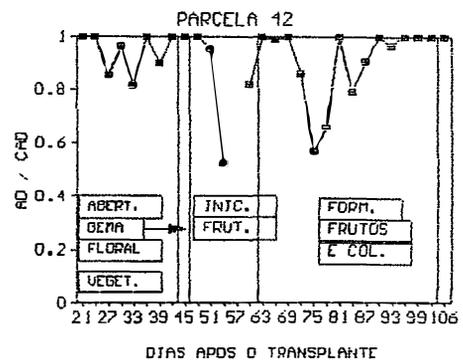
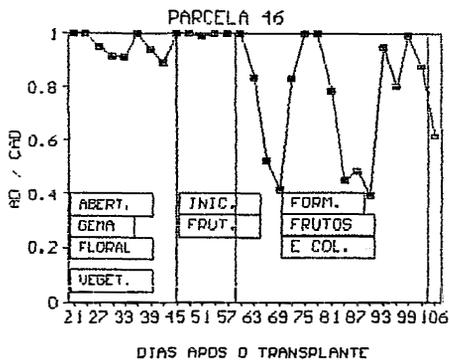


Figura 11 - Evolução da relação AD /CAD média, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa na formação de frutos e colheita.

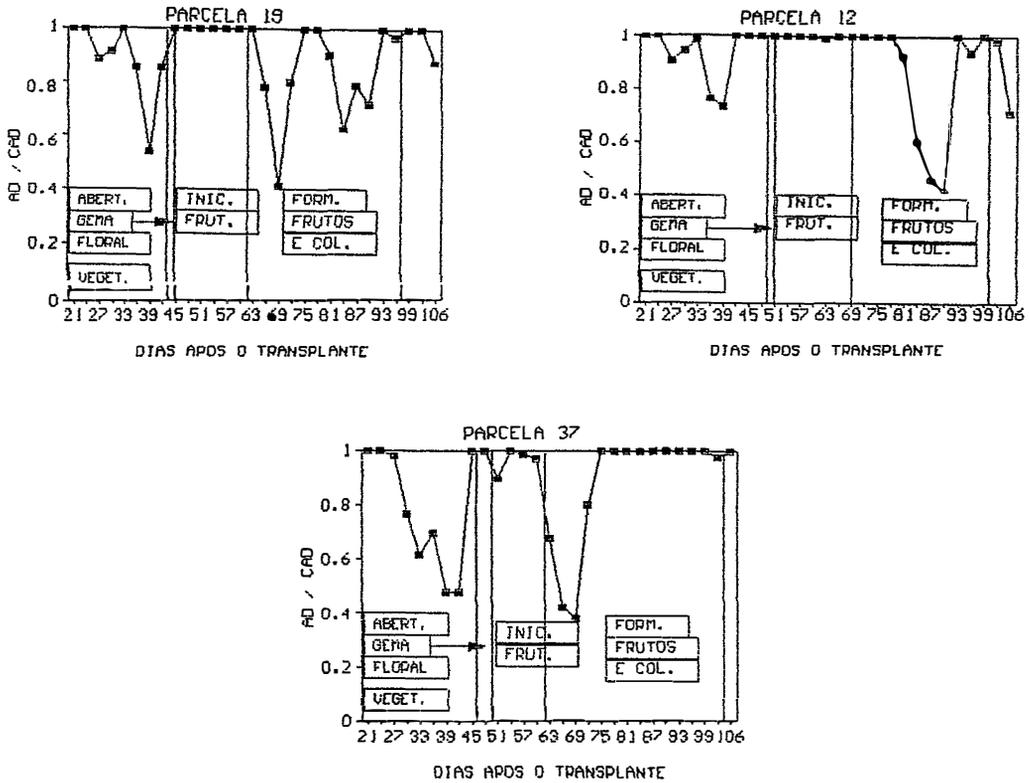


Figura 11 - (continuação) Evolução da relação AD /CAD média, do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa na formação de frutos e colheita.

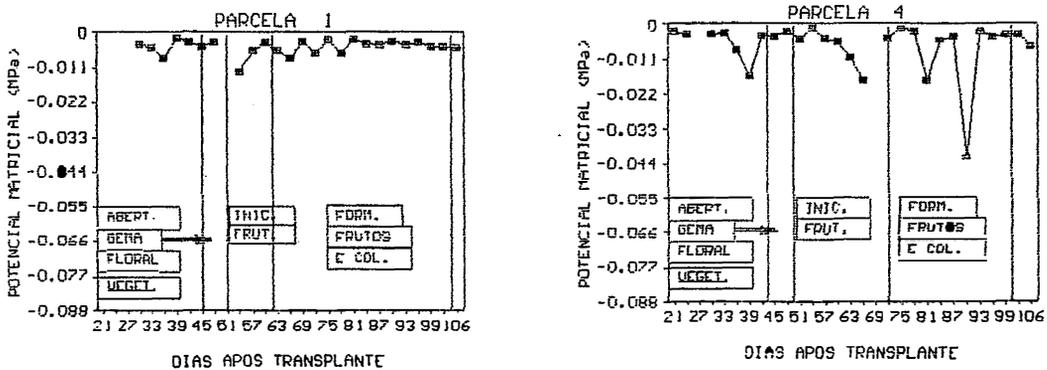


Figura 12 - Evolução do potencial matricial médio a 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas sem estresse hídrico.

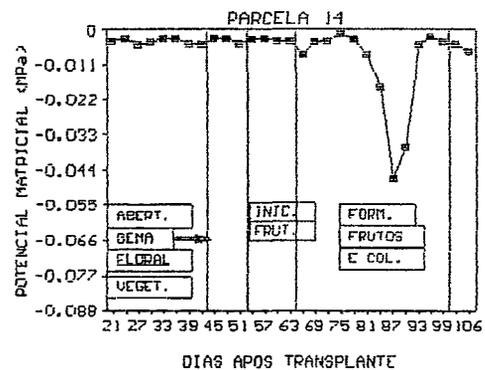
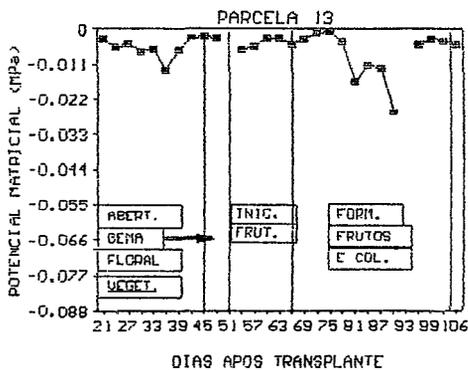
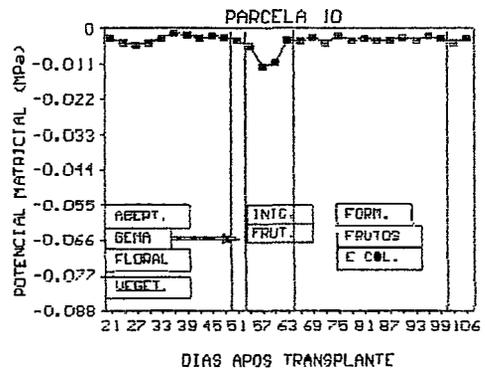
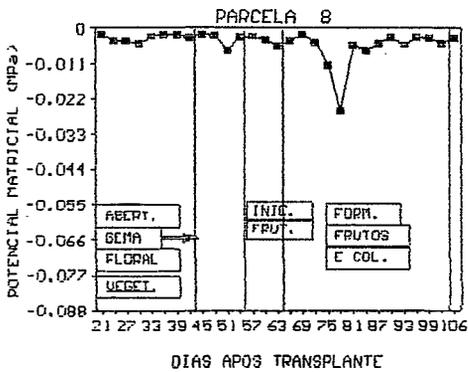
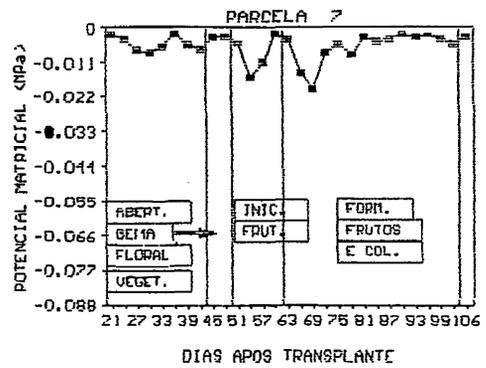
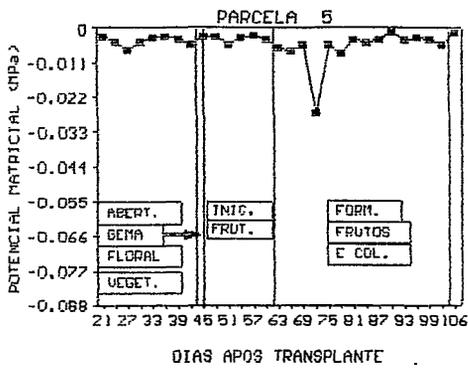


Figura 12 - (continuação) Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas sem estresse hídrico.

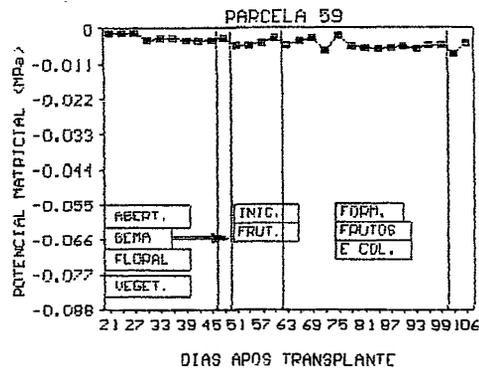
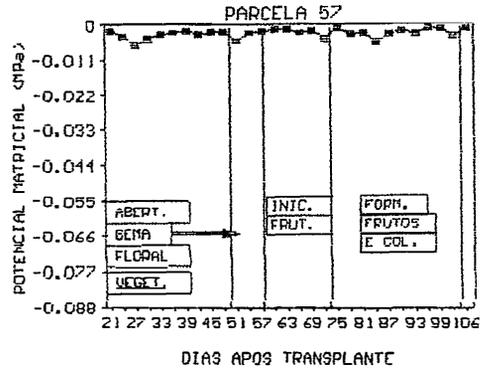
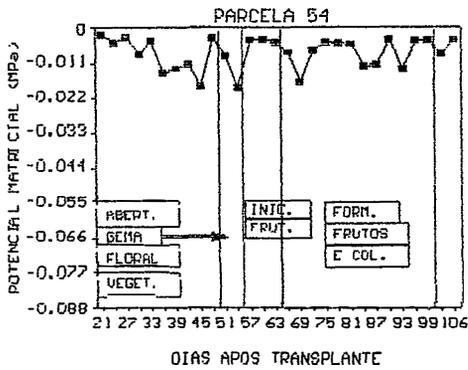
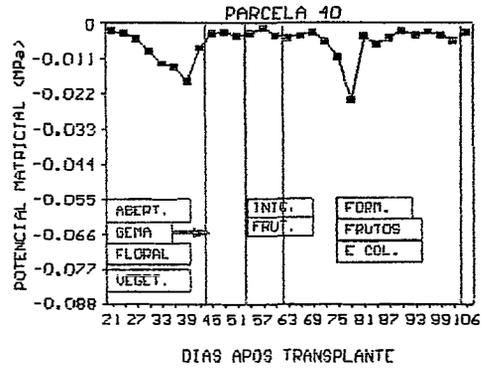
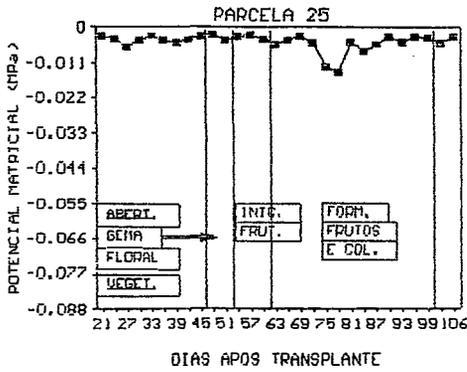


Figura 12 - (continuação) Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas sem estresse hídrico.

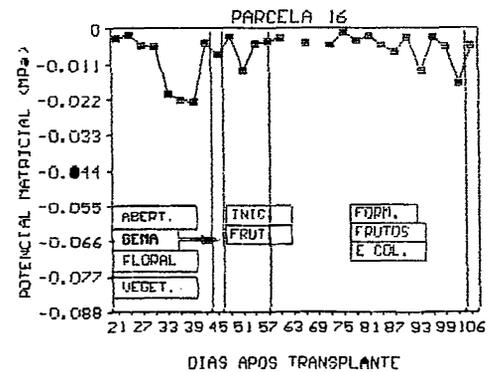
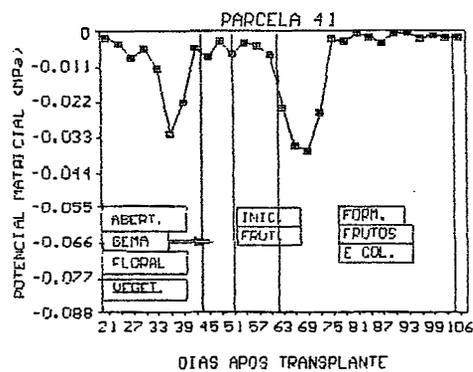
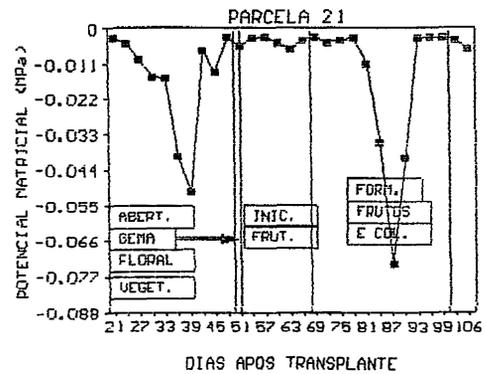
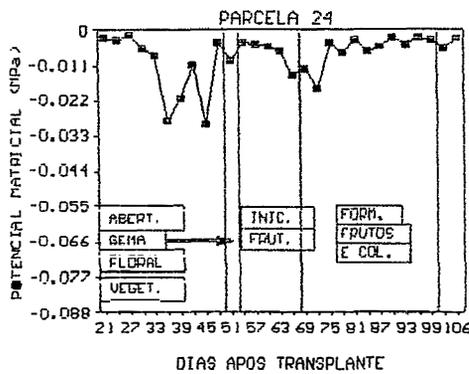
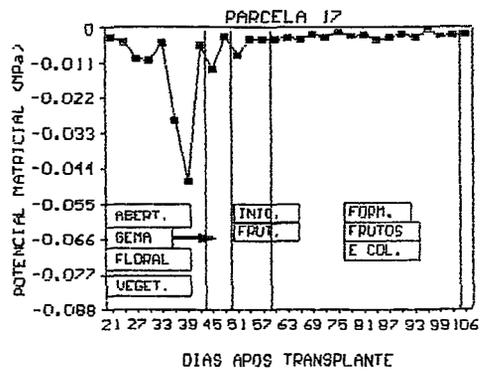
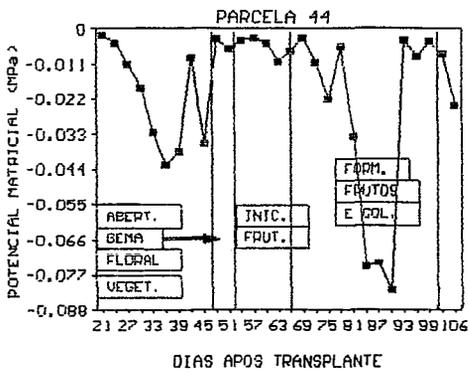


Figura 13 - Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no período vegetativo.

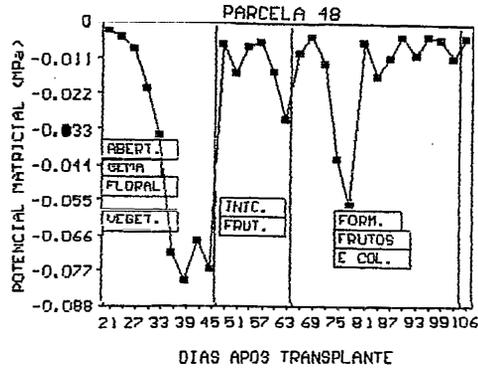


Figura 13 - (continuação) Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no período vegetativo.

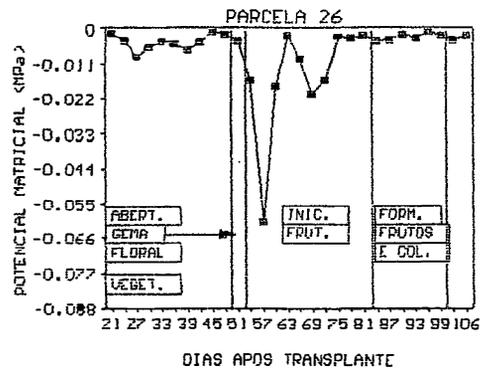
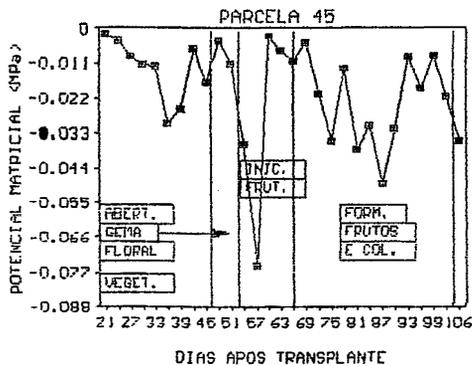
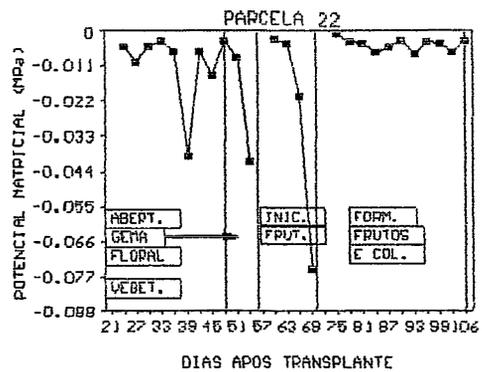
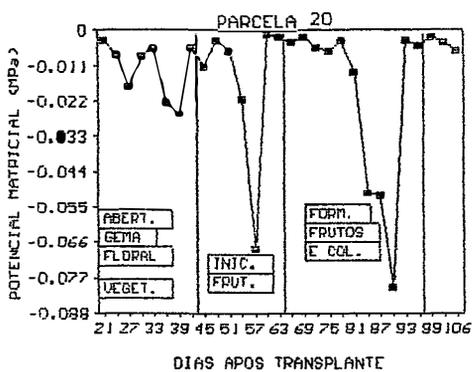


Figura 14 - Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no período de início da frutificação

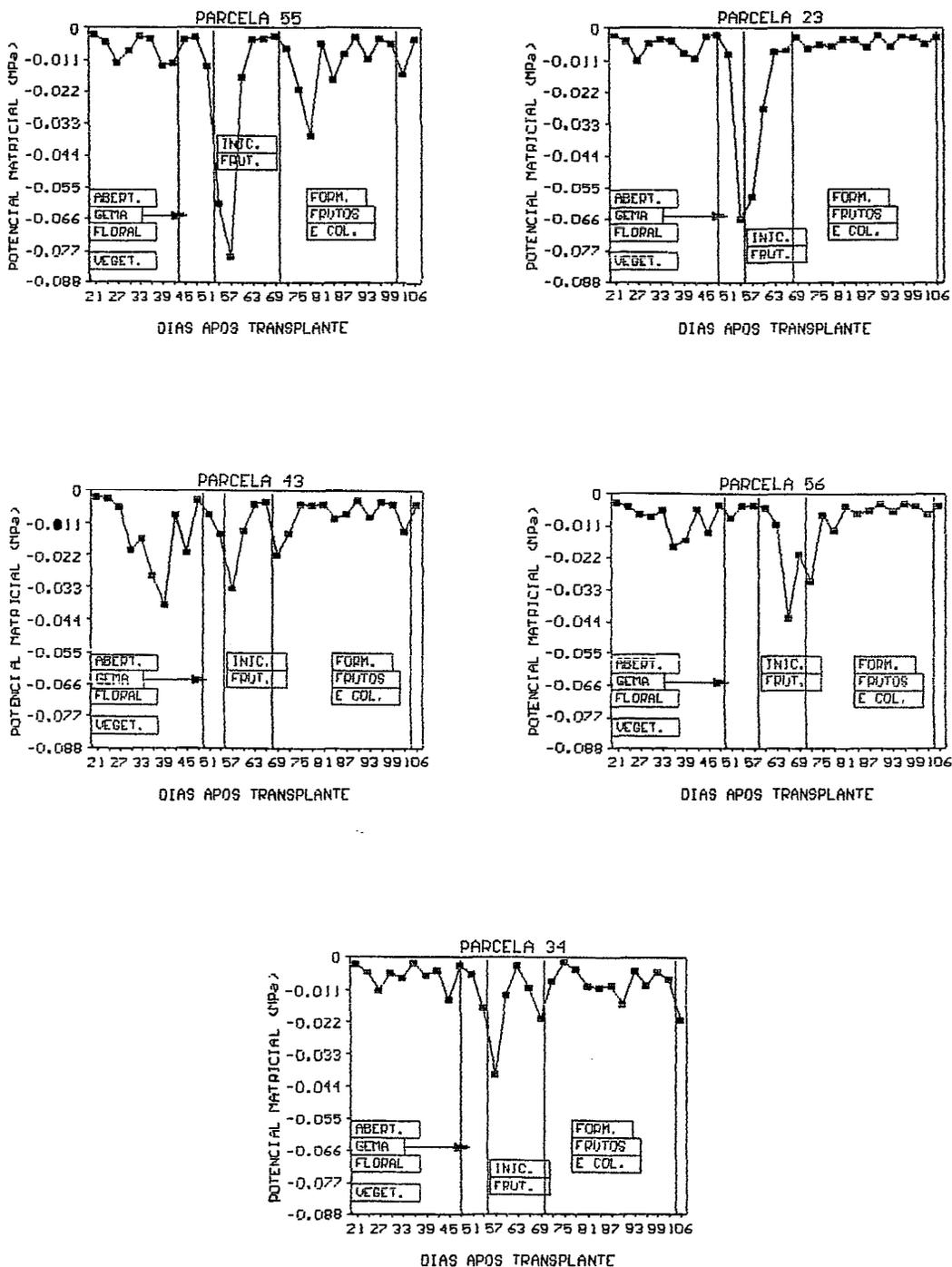


Figura 14 - (continuação) Evolução do potencial matricial médio a 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa no início da frutificação.

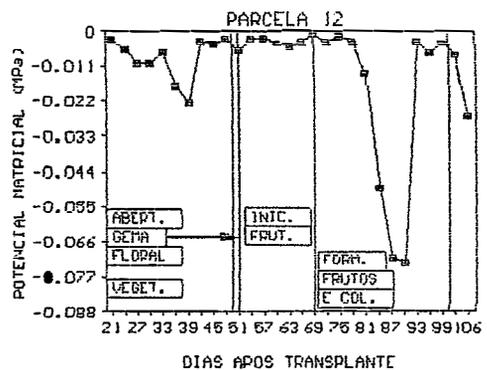
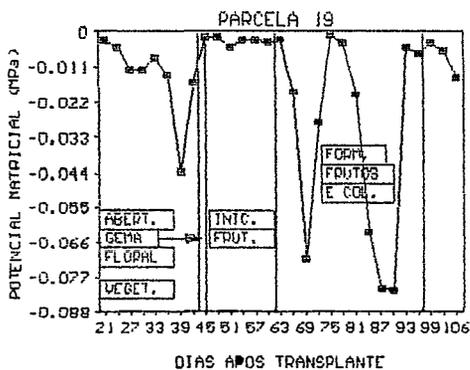
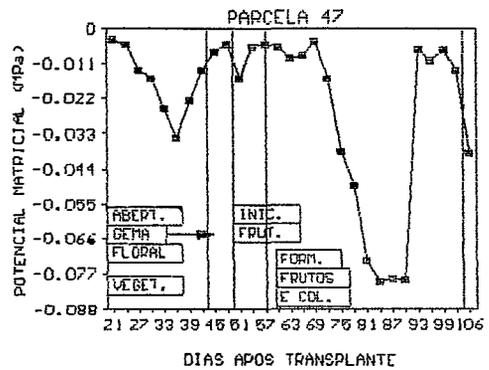
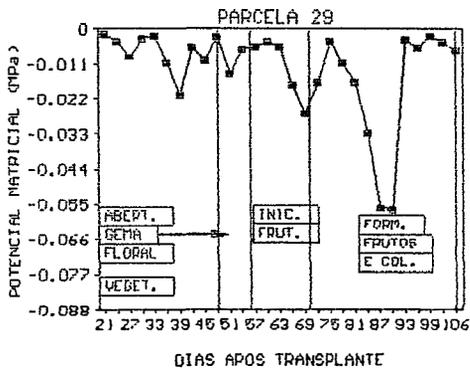
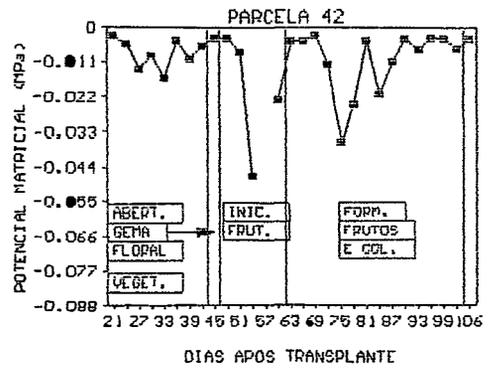
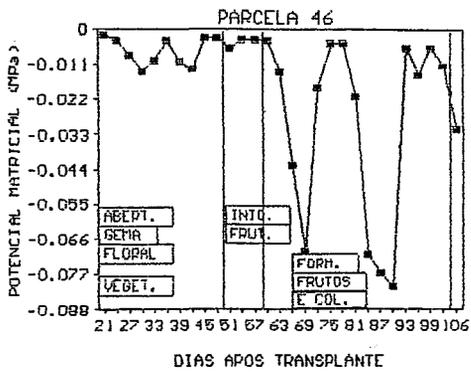


Figura 15 - Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa na formação de frutos e colheita.

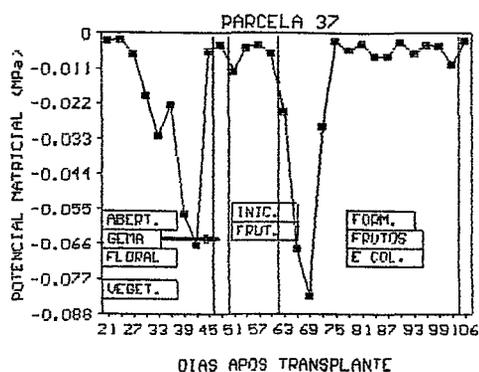


Figura 15 - (continuação) Evolução do potencial matricial médio à 15cm de profundidade do solo, no decorrer do ciclo da cultura, para as parcelas nas quais a irrigação foi suspensa na formação de frutos e colheita.

Os dados mostram a dificuldade que houve para se impor graus comparáveis de deficiência hídrica nas repetições de cada tratamento definido originariamente e ainda, para que eles ocorressem nos períodos previstos, de acordo com os motivos explanados no item 3.8.

Embora o parâmetros **AD / CAD** tenha refletido com uma certa clareza o comportamento dos diferentes níveis de água no solo nas diferentes parcelas, sabe-se que a estimativa de **CAD** guarda limitações, especialmente no que se trata dos valores de umidade no solo para o potencial matricial correspondente à capacidade de campo (θ_{cc}), visto que para um processo tão dinâmico assume-se um valor determinado que o represente, na maioria das vezes, em laboratório (REICHARDT, 1988).

SILVA (1988) e MORAES (1991) tratando da

variabilidade da retenção da água nos solos (latossolo roxo), discutiram inclusive a importância da representatividade da amostra (número de repetições e o nível de significância com que se deseja trabalhar numa dada profundidade do sistema radicular) para que se possa obter valores de capacidade de campo da área estudada mais representativos, dado a variação da água disponível quando se compara as tensões de 60 para 100 e de 100 para 306cm.col.água, exigindo esta última sempre um maior número de amostras.

No item 3.1.1. pode-se constatar essa dificuldade de se estimar um dado valor de umidade volumétrica para o ponto de capacidade de campo, porque embora utilizando-se a equação de Van Genuchten e amostragens feitas "in loco", ao comparar o valor atribuído ao parâmetro na literatura percebe-se uma faixa de variação de $-0,005\text{MPa}$, para mesmos solos e solos de composição física muito aproximada. Alia-se a essa dificuldade a determinação da profundidade efetiva do sistema radicular (Z_e) conforme pode-se constatar no item 3.6.2., onde verificou-se uma diferença em torno de 6cm da Z_e referenciada em literatura e daquela medida em campo em área vizinha às parcelas em avaliação.

Quando se observa as figuras que mostraram a evolução da relação AD / CAD e do potencial matricial ao longo do ciclo verifica-se que as parcelas 16, 17, 23, 26 e 46 sofreram diminuição acentuada desses parâmetros em uma das fases do ciclo. As outras parcelas sofreram redução em mais

de uma fase, mas essa redução não mostra, necessariamente, ocorrência de estresse, porque o grau de estresse está associado também a demanda atmosférica.

Esse grau de estresse foi estabelecido em função da relação E_{ta} / E_{tm} estimada pelo balanço hídrico, a qual mostrou que grandes oscilações na demanda atmosférica (E_{tm}) nos períodos de elevadas alturas pluviométricas intermediados por dias de altas irradiâncias, fazia com que os valores de E_{tm} se mantivessem baixos, mostrando água disponível no solo. Nas figuras onde os níveis de água são caracterizados pela relação AD / CAD , os dados representam valores médios a cada 3 dias, onde o período utilizado para calcular AD não é o mesmo do balanço hídrico, daí a necessidade de complementação dessas figuras.

Dessa forma, constatou-se que a relação E_{ta} / E_{tm} em cada período fenológico fornecia uma melhor idéia dos níveis de deficiência sofridos pela cultura, considerando que para as parcelas em que E_{ta} / E_{tm} foi inferior a 0,92 houve deficiência hídrica. Acima desse valor, teria ocorrido uma deficiência hídrica muito pequena que poderia ser considerada desprezível (quanto mais próxima a relação do valor 1). O valor de 0,92 foi adotado através da observação que nas parcelas em que os estresses hídricos ocorreram em períodos fenológicos isolados, quando a relação esteve sempre acima desse valor, as produções foram em torno de máximo 18% inferiores à produção máxima obtida.

A parcela 23 (figura 10) ressalta os problemas de

delimitação de períodos fenológicos e a dificuldade de imposição dos níveis de estresse hídrico nesses períodos, em função dessa delimitação reforçada pela curta duração do período de abertura de gema floral, um dos sérios problemas enfrentados para se caracterizar os níveis de déficit e as condições hídricas que permaneceram no solo.

No que diz respeito aos potenciais matriciais (FIGURAS 12 a 15), os seus valores numéricos mínimos (mais negativos) encontrados em cada período fenológico não mostraram tendência em relação ao maior ou menor nível de estresse hídrico sofrido caracterizado pela água presente no solo através do parâmetro **AD / CAD**. Não houve nem mesmo uma tendência desses valores mínimos acompanharem o decréscimo de produção, ou seja, os valores mínimos encontrados no período fenológico em estresse não foram coincidentes com as menores produções encontradas na parcela, mostrando que a duração e a extensão do estresse, as quais atuam de forma conjunta sobre o crescimento, são mais importantes conforme argumentou LATIMER e MITCHELL (1988) e devem atuar também sobre o processo de produção.

No que se trata da representatividade dos dados de umidade do solo coletados através dos tensiômetros, uma questão difícil de ser controlada é o tempo de resposta do instrumento à água ministrada no solo após um certo período de déficit hídrico. Além disso, detectou-se o problema da falta de repetição de medida numa mesma profundidade conforme menciona VILLAGRA (1988), através dos espaços vazios (perda

de leitura em períodos de tensão muito elevada) nos gráficos de **AD / CAD** e potencial matricial, isto porque havia um tensiômetro por profundidade e quando este não registrava o valor obtido, perdia-se o dado.

Em algumas parcelas houve um período de secamento acentuado registrado pelo decréscimo dos valores de **AD / CAD** que não deveria ter ocorrido. Entre 69 e 72 dias após o transplante, ocorreu a queda parcial de uma das coberturas com uma altura pluviométrica muito elevada (cerca de 45mm) o que desuniformizou a quantidade de água aplicada nas diferentes parcelas. Em seguida, promoveu-se uma irrigação na tentativa de homogeneizar a água no solo nas diferentes parcelas, porém não se obteve pleno êxito.

Entre os 87 e 90 dias após o transplante os valores de potencial mostraram outras desuniformidades que ocorreram em função das infiltrações verticais produzidas por furos existentes no plástico das coberturas, gerando diferenças de água no solo entre as parcelas de um mesmo tratamento pertencentes à cobertura 1 e à cobertura 2. Essas diferenças acentuaram-se quando a irrigação foi mais tardia, na expectativa de que as parcelas da cobertura 1 atingissem tensões de água no solo mais próximas àquelas da cobertura 2, para que dessa forma as repetições dos tratamentos tornassem-se mais uniformes.

4.2. Relações quantitativas entre produção e disponibilidade hídrica no solo

A figura 16 mostra a relação entre o déficit de produção ($1 - (Y_a / Y_m)$) e o déficit de evapotranspiração relativa no período vegetativo, sendo os dados ajustados por uma equação de regressão linear forçada a passar pela origem (déficit de produção zero para déficit de evapotranspiração zero), de acordo com o proposto por STEWART (1972) e STEWART e HAGAN (1973), obtendo-se um coeficiente de correlação de 0,7789, significativo de acordo com o teste t ao nível de 5%.

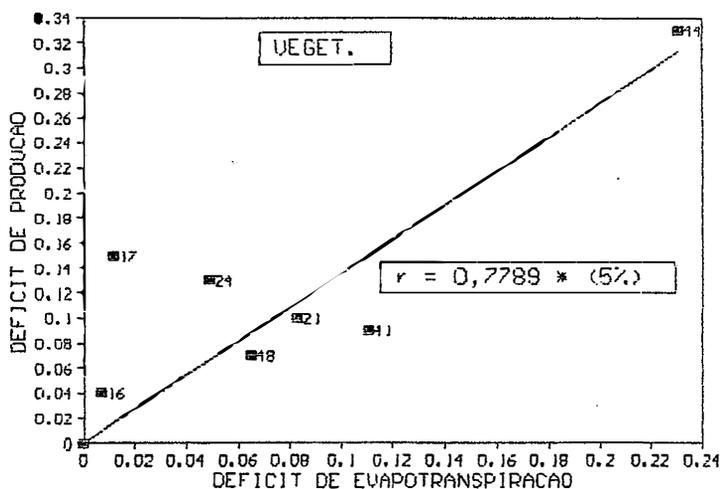


Figura 16 - Relação entre déficit de produção e de evapotranspiração relativa no período vegetativo (O valor nos pontos refere-se ao número de cada parcela).

O coeficiente angular da equação representa o coeficiente K_y , sendo o valor obtido igual a 1,35. A gama

de variação do déficit de evapotranspiração foi pequena (24%) e o coeficiente de correlação, embora significativo, não foi muito elevado, o que diminui a consistência do valor de K_y . Seria ideal, portanto, ajustá-lo com um número maior de pontos e com uma amplitude maior de variação do déficit de evapotranspiração relativa. A que se considerar ainda que as parcelas 16 e 48, na verdade, apresentaram um valor de E_{ta} / E_{tm} acima de 0,92 (critério utilizado para verificar a deficiência hídrica). Assim, embora com uma deficiência praticamente desprezível, essas parcelas foram utilizadas para que se pudesse observar a tendência dos dados quando os valores de estresse eram muito pequenos, pois nesses casos a tendência linear não se mantém de acordo com BAIRD et al (1987).

A figura 17 mostra a relação entre déficit de produção e de evapotranspiração no período de início de frutificação (que inclui também a abertura de gema floral), sendo que o ajuste por equação de regressão linear mostrou um valor de $r = 0,8728$, significativo ao nível de 0,1% pelo teste t utilizado. Verifica-se que embora existam erros embutidos, principalmente na determinação da evapotranspiração, os dados foram melhor distribuídos ao longo do campo de variação das variáveis, além da gama de variação do déficit de evapotranspiração ser maior do que no caso do período vegetativo, dando uma maior consistência aos resultados.

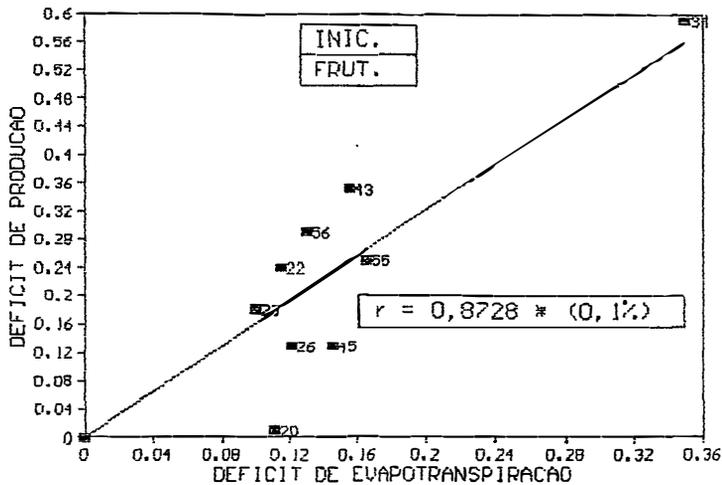


Figura 17 - Relação entre o déficit de produção e de evapotranspiração relativa no período de início de frutificação (O valor nos pontos refere-se ao número de cada parcela).

O valor de K_y encontrado para o período de início de frutificação é de 1,60. Isso mostra a maior sensibilidade da berinjela ao déficit hídrico nesse período em comparação ao vegetativo, concordando com informações de PIMENTEL (1985), SGANZERLA (1990) e MURAYAMA (1992) no que diz respeito a sensibilidade dos períodos fenológicos. Esse último autor, no entanto, é muito pouco claro no que se refere à forma como foi medida ou estimada essa sensibilidade para o período vegetativo, porém, é uma informação importante que pelos dados obtidos deve ter sido observada a nível prático.

A figura 18 mostra a relação entre o déficit de produção e de evapotranspiração relativa no período de formação de frutos e colheita. Os resultados mostram que

nesse período há menor sensibilidade ao estresse hídrico, visto que o valor de K_y foi o menor dos três períodos, ou seja, 0,84, o que encontra apoio na literatura citada no parágrafo anterior. O coeficiente de correlação também não foi muito elevado (0,8761) e o teste t mostrou um nível de significância de 1%.

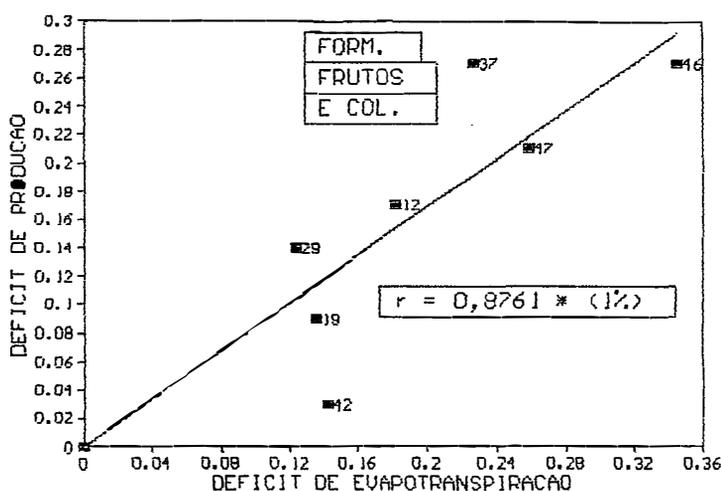


Figura 18 - Relação entre déficit de produção e de evapotranspiração relativa no período de formação de frutos e colheita (O valor nos pontos refere-se ao número de cada parcela).

Uma questão importante a ser comentada é a fonte de erro na estimativa de E_{ta} a partir da forma adotada para o cálculo do balanço hídrico no solo, pois assumiu-se como desprezíveis a ascensão capilar e a drenagem. Entretanto, essa forma de calcular E_{ta} foi mais adequada do que calcular E_{ta} pela equação nº 9 utilizada, proposta em DOORENBOS e KASSAM (1979). Com relação ao fato de considerar-

se a água disponível como a variação de armazenamento, não deve ter propiciado maiores erros, uma vez que o período anterior à contabilização do esgotamento da água disponível foi suficiente para ter anulado qualquer possível excesso hídrico, de modo que a drenagem profunda deve ter sido desprezível, como se admitiu.

A figura 19 mostra as relações obtidas entre evapotranspiração real acumulada nos períodos de estresse e produção, para os grupamentos de parcelas que sofreram estresse nos períodos fenológicos vegetativo, início de frutificação e formação de frutos e colheita. Verifica-se que, apenas as parcelas que sofreram estresse no período vegetativo apresentaram uma tendência linear mais clara. Porém, o reduzido número de pontos bem como a sua estreita gama de variação não fornecem uma melhor consistência aos dados.

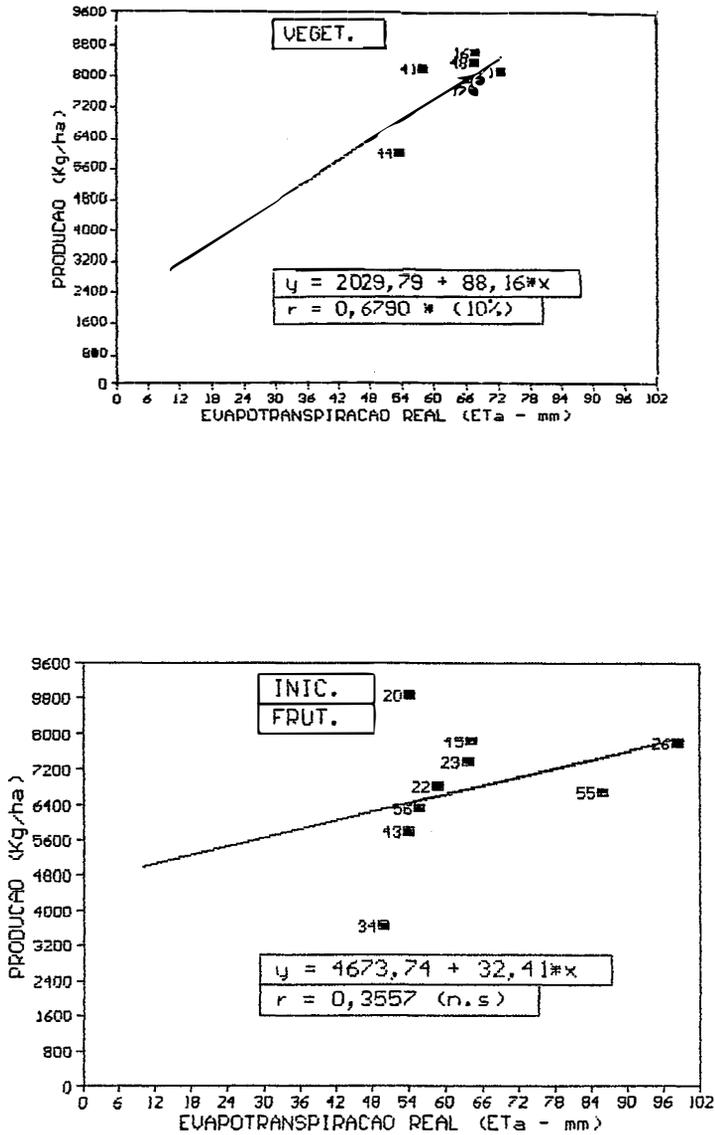


Figura 19 - Relação entre evapotranspiração real e produção, ao longo do ciclo, nos diferentes grupos de parcelas (● valor nos pontos refere-se ao número de cada parcela).

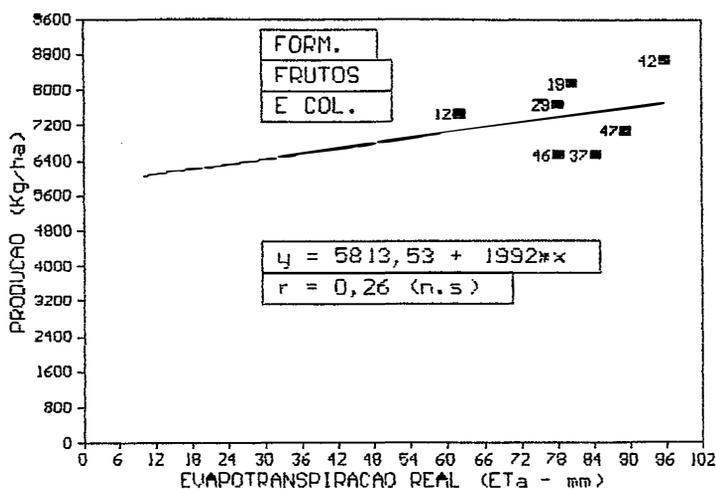


Figura 19 - (continuação) Relação entre evapotranspiração real e produção, ao longo do ciclo, nos diferentes grupos de parcelas (O valor nos pontos refere-se ao número de cada parcela).

O comportamento apresentado pelos diferentes grupamentos de parcelas confirma as colocações de DOWNEY (1972) e SINGH et al (1991) de que quando a cultura possui períodos fenológicos particularmente sensíveis e quando a produção é de uma parte especializada da planta esse comportamento linear não deve se manter.

Outro fator que deve ter influenciado a não linearidade da função foram os graus de estresse obtidos. Estes foram no máximo moderados, não atingindo estresses severos, como é necessário segundo colocações de STEWART (1972), STEWART e HAGAN (1973) e STEGMAN (1983). Além dos limiares de estresse obtidos, certamente o intervalo de duração dos déficits de **ET** e a sua intensidade e sequência

(combinação) nos períodos fenológicos também devem ter alterado o comportamento da função conforme VAUX et al (1981), especialmente, porque o período de florescimento foi muito reduzido, e os déficits impostos, na sua maioria, acabaram acontecendo no período de início de frutificação. Um outro fator que também pode ter influenciado a não linearidade da função foi o fato do cálculo da lâmina de irrigação, conforme DOORENBOS e KASSAM (1979), provocar superestimativa da água aplicada em algumas parcelas visto que recomenda a mesma lâmina de irrigação para todos os tratamentos em estresse hídrico. Isto deve ter provocado falta de aeração no solo conforme mencionam STEWART (1972) e STEWART e MUSICK (1982).

BAIRD et al (1987) colocaram que a relação que origina o K_y é não é bem definida e os dados mostram que isso acontece uma vez que os parâmetros de evapotranspiração e produção relativas têm um comportamento diferenciado daqueles ora analisados (evapotranspiração e produção real).

Além da relação entre déficit de produção relativa e déficit de evapotranspiração relativa, estudou-se também um índice, ao qual denominou-se de índice, de estresse hídrico no solo, conforme a equação 10. O resultado obtido é mostrado na figura 20.

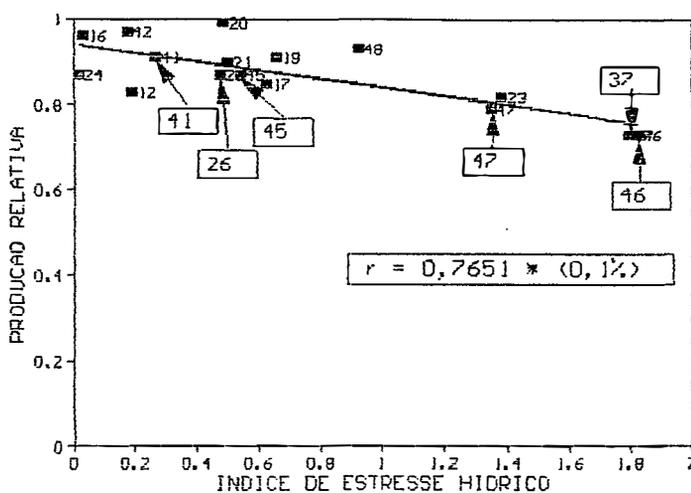


Figura 20 - Relação entre produção relativa e índice de estresse hídrico no solo para o ciclo da cultura (O valor nos pontos refere-se ao número de cada parcela).

Para esse índice, a exemplo do K_y , empregou-se os mesmos critérios para desprezar os dados de algumas parcelas. A exclusão, nesse caso, das parcelas 44, 55, 34, 29, 56 e 43, utilizadas na estimativa de k_y , deveu-se a uma certa incoerência observada entre o índice de estresse hídrico no solo e a produção relativa da respectiva parcela, a exemplo da comparação feita entre produção relativa e evapotranspiração relativa apontada no item 3.8, onde os fatores que, possivelmente, motivaram esse comportamento são os mesmos lá apontados. Portanto, nesse caso onde empregou-se fatores de estimativa (p , AD , CAD), o resultado não foi tão eficiente para mostrar a condição do estresse hídrico imposto como no caso da elaboração do balanço hídrico através do

qual estimou-se E_{ta} / E_{tm} utilizando-se dados medidos no local (tensiômetros), onde o coeficiente de correlação da regressão não foi muito elevado (0,7651), embora significativo ao nível de 0,1% pelo teste t empregado.

Os dados da figura 20 mostram, portanto, que o índice de estresse hídrico proposto pode ser usado para estimar a produção relativa em função do grau de déficit hídrico no solo, porém, não de forma tão precisa como quando a produção relativa é estimada pelo parâmetro evapotranspiração relativa. Tal índice usa o conceito de fração p da CAD e os resultados obtidos mostram que os valores de p usados de acordo com o proposto por DOORENBOS e KASSAM (1979), embora recomendados para a cultura do pimentão, podem ser usados para a cultura da berinjela. A relação encontrada mostra uma certa concordância com os dados de K_y porque os menores índices de estresse hídrico e as maiores produções relativas, ocorreram, na sua maioria, para as parcelas que sofreram estresses nos períodos vegetativo e de formação de frutos e colheita, sem uma definição clara da sensibilidade ao estresse hídrico entre os dois referidos períodos fenológicos. Essa ressalva com relação à sensibilidade dos períodos fenológicos deve ser feita porque tanto para o grupamento de parcelas que sofreram estresse hídrico durante o período vegetativo como para aquelas que sofreram estresse durante a formação de frutos e colheita também ocorreram valores de índices de estresse hídrico no solo bem maiores associados com baixa produção relativa.

No que diz respeito à produção dos diferentes grupamentos de parcelas (TABELA 6) não se verificou uma tendência muito definida, uma vez que as parcelas sem estresse hídrico mostraram uma diferença maior entre os valores extremos do que as parcelas que sofreram estresse hídrico nos períodos vegetativo e de formação de frutos e colheita. A maior diferença entre extremos ocorreu para o período de início de frutificação onde a parcela 34, com seu baixo valor de produção, foi a principal responsável por esse aumento de diferença (a mesma sempre apresentou um desempenho inferior em termos de crescimento e desenvolvimento).

Tabela 6 - Produção (Kg/ha) para estresses ocorridos nas diferentes parcelas.

SEM ESTRESSE		VEGET.		INIC.FRUT.		FORM.FRUTOS E COL	
PARC.	PROD. (Kg/ha)	PARC.	PROD. (Kg/ha)	PARC.	PROD. (Kg/ha)	PARC.	PROD. (Kg/ha)
1	6973	44	5966	20	8860	46	6503
4	7341	17	7568	22	6805	42	8669
5	8250	24	7815	45	7815	29	7672
7	7846	21	8062	26	7767	47	7070
8	8835	41	8127	55	6679	19	8163
10	6116	16	8559	23	7369	12	7447
13	7688	48	8321	43	5786	37	6510
14	7441			56	6308		
25	8939			34	3651		
40	8052						
54	8319						
57	6399						
59	8112						
MÉDIA	7716		7774		6782		7433
D.P.	853,76		859,84		1488,75		813,07
MÁX.	8939		8559		8860		8669
MIN.	6399		5966		3651		6510

Os valores de densidade global nessa parcela 34

foram elevados ,cerca de $1,55\text{g}/\text{cm}^3$, mostrando a compactação do solo nessa camada mais superficial. A densidade de raízes esteve na faixa de $0,15\text{g}/\text{cm}^3$, para 15cm de profundidade do solo,valor este que pode ser considerado aproximadamente como a média dos valores predominantes. Isto sugere que pode ter havido um problema de aeração do solo em função da super estimativa da lâmina de irrigação provocada pelo critério utilizado, o que pode ter gerado uma maior concentração das raízes na camada mais superficial do solo.

As variações entre grupamentos de parcelas devem ter refletido, em maior grau, o efeito do fator água, uma vez que os dados de temperatura e umidade relativa do ar (figura 22) mostram que eles tiveram uma variação dentro da faixa adequada para o desenvolvimento da cultura, conforme MAKISHIMA (1983) e SGANZERLA (1990),embora os valores de temperatura média do ar mes de maio e de umidade relativa do ar durante o ciclo tenham ficado acima dos valores normais mostrando que o ano foi atípico.

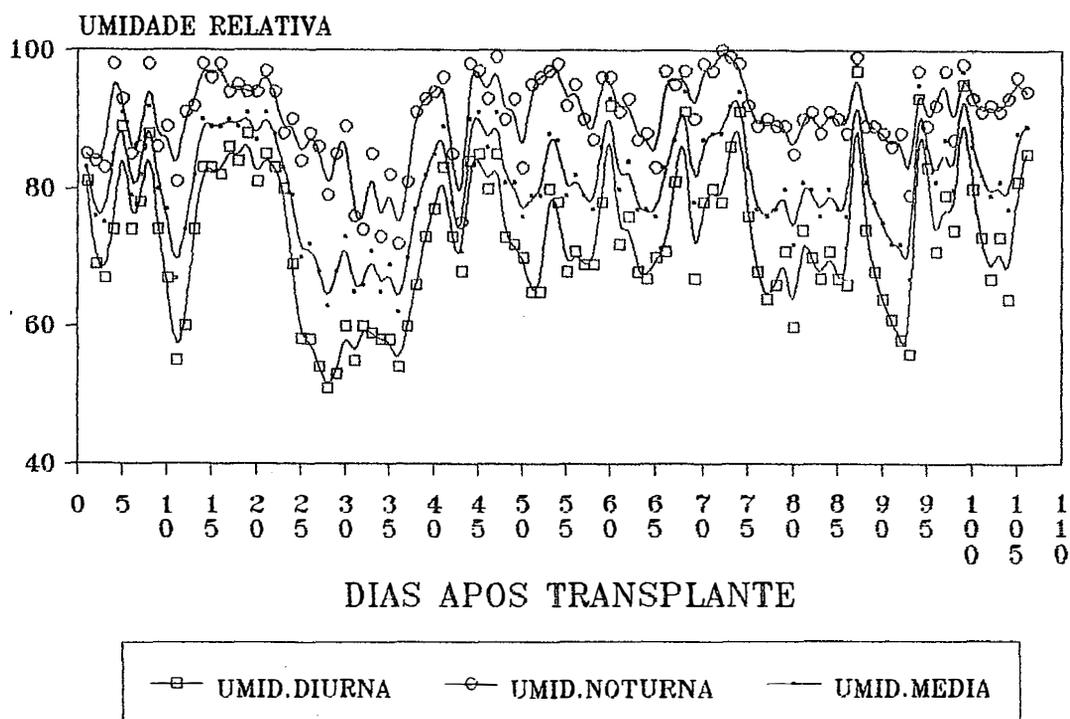
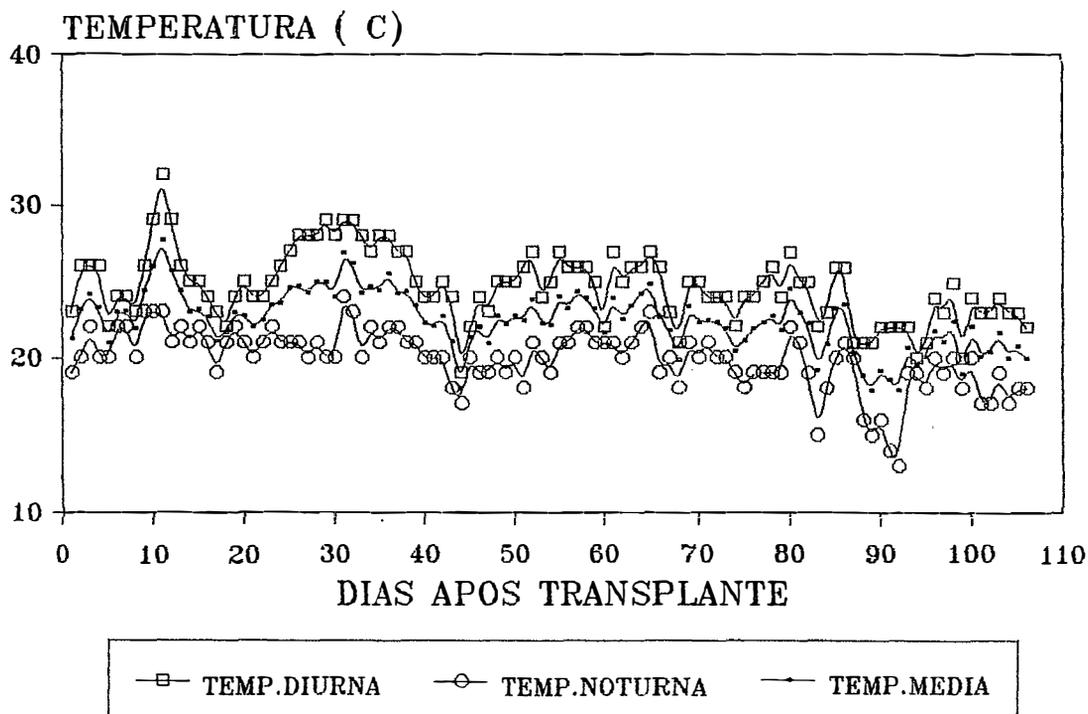


Figura 21 - Evolução da temperatura e umidade relativa do ar durante o ciclo da cultura.

Para o peso médio do fruto (TABELA 7), o comportamento entre parcelas foi semelhante ao da produção, como seria lógico esperar, tendo menor variação entre extremos para as parcelas que sofreram estresse na formação de frutos e colheita.

Tabela 7 - Peso médio de frutos (g) para estresses ocorridos nas diferentes parcelas.

SEM ESTRESSE		VEGET.		INIC.FRUT.		FORM.FRUTOS E COL.	
PARC.	PROD. (g)	PARC.	PROD. (g)	PARC.	PROD. (g)	PARC.	PROD. (g)
1	237,68	44	187,36	20	236,27	46	208,10
4	220,71	17	212,45	22	233,57	42	231,16
5	219,99	24	208,39	45	221,03	29	216,58
7	223,48	21	228,32	26	207,12	47	199,54
8	235,60	41	229,15	55	198,58	19	217,68
10	195,34	16	228,25	23	196,50	12	209,88
13	205,00	48	221,89	43	230,38	37	206,02
14	223,29			56	201,85		
25	238,36			34	191,69		
40	214,72						
54	221,83						
57	204,38						
59	216,32						
MÉDIA	219,75		216,54		212,99		212,71
D. P.	13,03		15,27		17,41		10,23
MÁX.	238,36		229,15		236,27		231,16
MIN.	195,34		187,36		191,69		199,54

A ordem de grandeza dos dados do peso de cada fruto mostraram que esses valores foram concordantes com aqueles apresentados por BERNARDI (1965) e CORNILLON e DAUPLE (1981), embora tenha-se claro que as variedades estudadas nos três casos são diferentes, e, portanto, passíveis de variações inerentes às suas características.

Tanto os valores de peso de médio dos frutos como os valores de produção não puderam ser adequadamente

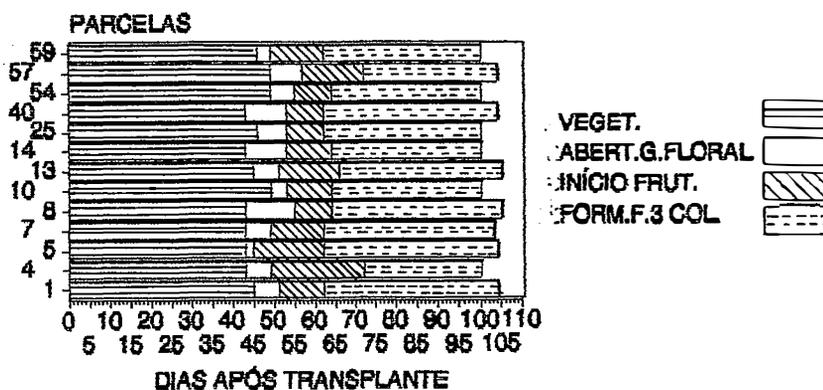
avaliados porque os valores referenciados em literatura não expressam o número de colheitas efetuados, nem tampouco há referências sobre a produção potencial da cultura.

4.3. Relações entre produção, desenvolvimento e crescimento

A figura 22 mostra que a duração do ciclo para as parcelas que sofreram estresse hídrico nos diferentes períodos fenológicos foi muito semelhante, variando entre 100 a 105 dias, não ocorrendo maior variabilidade mesmo em relação àquelas parcelas que não sofreram estresse hídrico. Portanto, dentro das condições de estresse hídrico aqui observadas, que não foram excessivamente drásticas, não houve efeito acentuado sobre a duração total do ciclo.

O comportamento da parcela 26 foi atípico em relação às demais parcelas dos diferentes grupamentos, tendo sido observado um crescimento vegetativo bastante intenso em detrimento de um crescimento reprodutivo, que pode ser atribuído a fatores não controláveis na área.

SEM ESTRESSE HÍDRICO



VEGETATIVO

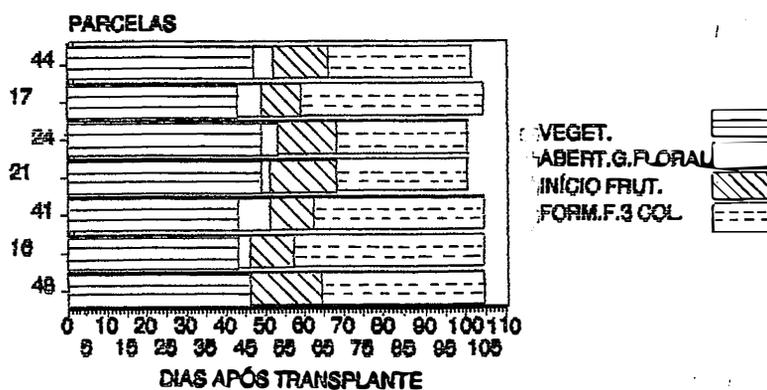
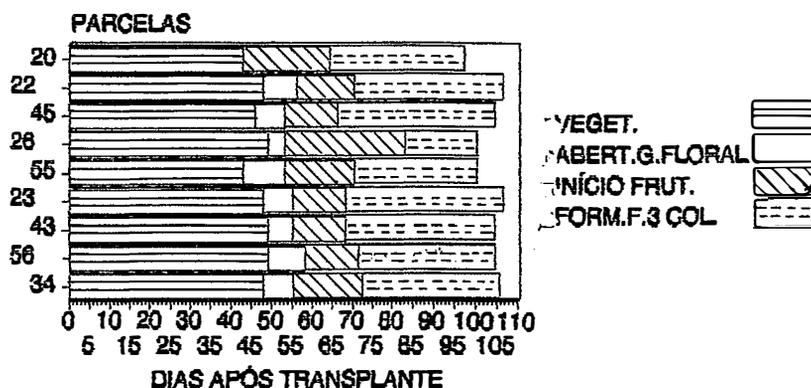


Figura 22 - Duração do ciclo da cultura, por períodos fenológicos, para os diferentes grupamentos de parcelas.

INÍCIO DE FRUTIFICAÇÃO



FORMAÇÃO FRUTOS E COLHEITA

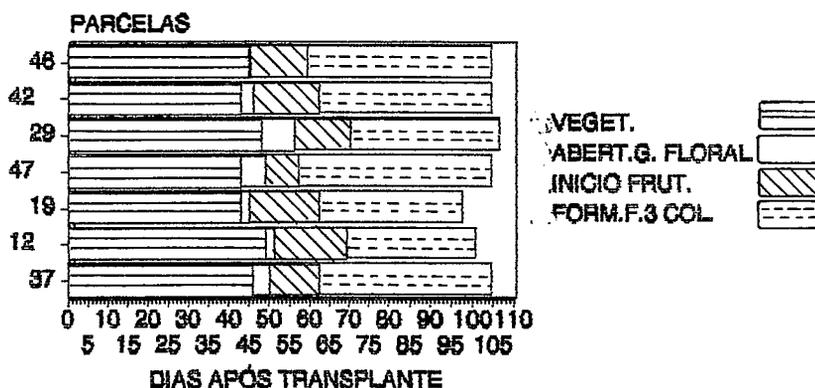


Figura 22 - (continuação) Duração do ciclo da cultura, por períodos fenológicos, para os diferentes grupamentos de parcelas.

Como comentou-se anteriormente, o período de abertura de gema floral foi o mais reduzido e os períodos vegetativo e de formação de frutos e colheita os mais longos,

como era esperado. Evidentemente, esse último período poderia ser ainda mais longo se o número de colheitas fosse maior do que as três utilizadas, porém BERNARDI (1968), PIMENTEL (1985) e MAKISHIMA (1983) não apresentam o número de colheitas que a cultura pode produzir quando citam a produção potencial da cultura.

A variabilidade dos períodos fenológicos entre diferentes repetições de um mesmo tratamento e entre tratamentos provocada pelo hábito indeterminado da cultura é que gerou o critério de finalização quando 50% das plantas da parcela atingissem aquele período, visando propiciar maior uniformidade na delimitação desses.

O critério de definição de 1a, 2a e 3a colheitas como sendo a colheita de um, dois e três frutos, respectivamente, de cada planta de cada parcela foi adotado porque a literatura informa que o período de colheita é de dois a três meses, mas não informa quantas colheitas a cultura pode produzir.

Com relação aos parâmetros de crescimento, como é o caso do comprimento das plantas (figura 23) encontrou-se, em termos médios, para a última medida realizada (15/04 -89 dias após o transplante), o menor comprimento médio de plantas (89cm e desvio padrão igual a 16,27) para as parcelas que sofreram estresse hídrico no início da frutificação. Para aquelas que sofreram estresse nos períodos vegetativo e de formação de frutos e colheita a variação foi pequena (médias de 94 e 93cm, com desvio padrão de 11,89 e 14,14,

respectivamente), valores esses ainda mais próximos àqueles apresentados pelas parcelas que não receberam estresse (médias de 96cm e desvio padrão 14,17). Entretanto, houve variação grande do comprimento médio entre as diferentes parcelas na última amostragem dentro de cada grupo, acentuada mesmo no grupamento daquelas que não sofreram estresse hídrico (cerca de 40cm entre os valores extremos), o que pode ter sido reflexo da variabilidade espacial de condições físicas do solo ou até mesmo inerente à própria variedade. A parcela 24, pertencente ao grupo que sofreu estresse hídrico no período vegetativo é um exemplo disso, sendo observado que esta parcela foi uma das que apresentou um maior crescimento vegetativo em detrimento do crescimento reprodutivo.

Esse menor comprimento médio de plantas para o grupamento de parcelas que sofreu estresse no início da frutificação mostra que esses dados apresentaram um comportamento semelhante àqueles de ky, ou seja, o período de início de frutificação mostrou-se o mais sensível dos períodos fenológicos ao estresse hídrico.

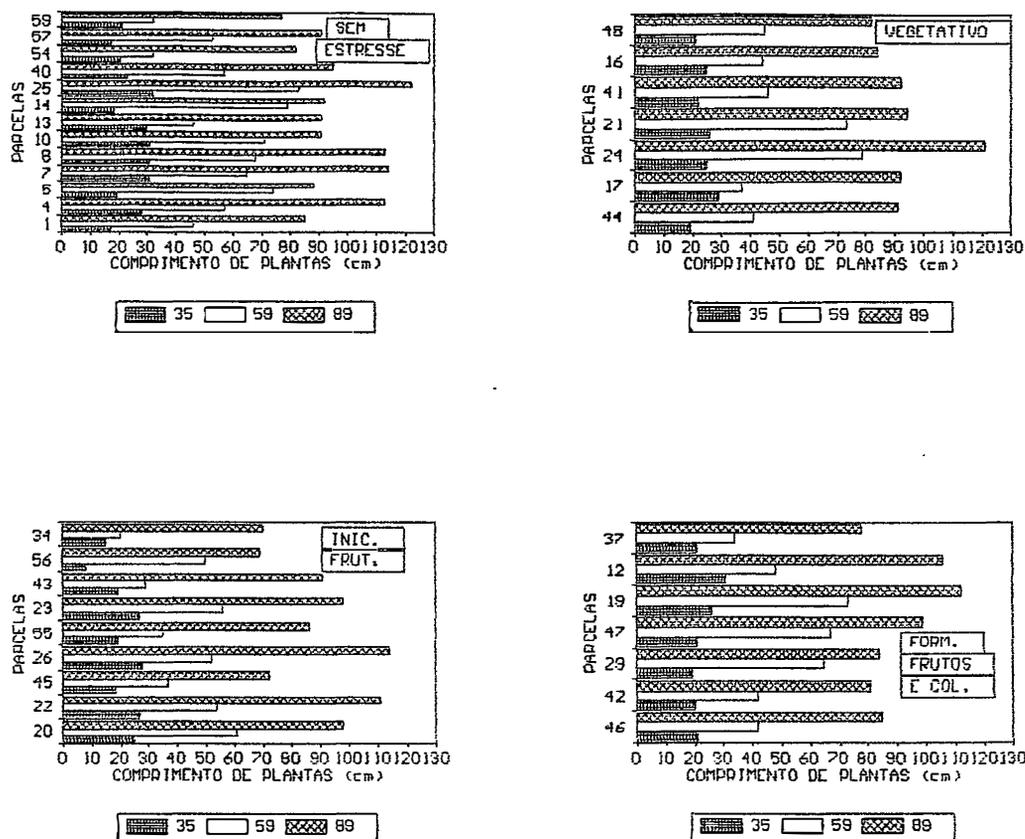


Figura 23 - Comprimento médio das plantas medido ao longo do ciclo, nos diferentes grupos de parcelas (O número da legenda corresponde ao número de dias após o transplante em que foram feitas as medidas).

Tanto para as parcelas sem déficit como para as demais os dados de comprimento das plantas foram maiores do que aqueles citados em literatura por BERNARDI (1965), VIEIRA (1973) e MINAMI (1977), porém os autores trabalharam com outras cultivares e mencionaram a medição do parâmetro altura de planta, não sendo claros com relação aos critérios empregados para a coleta desses dados, dificultando uma

possível comparação com os resultados obtidos.

Para nenhum dos grupamentos de parcelas conseguiu-se estabelecer uma relação significativa entre o parâmetro estudado e os índices de estresse hídrico e, tampouco com a produção obtida, provavelmente em função da variabilidade intrínseca do parâmetro comprimento de planta.

A figura 24 mostra os valores de número médio de folhas para as parcelas agrupadas de acordo com o período de ocorrência do estresse hídrico.

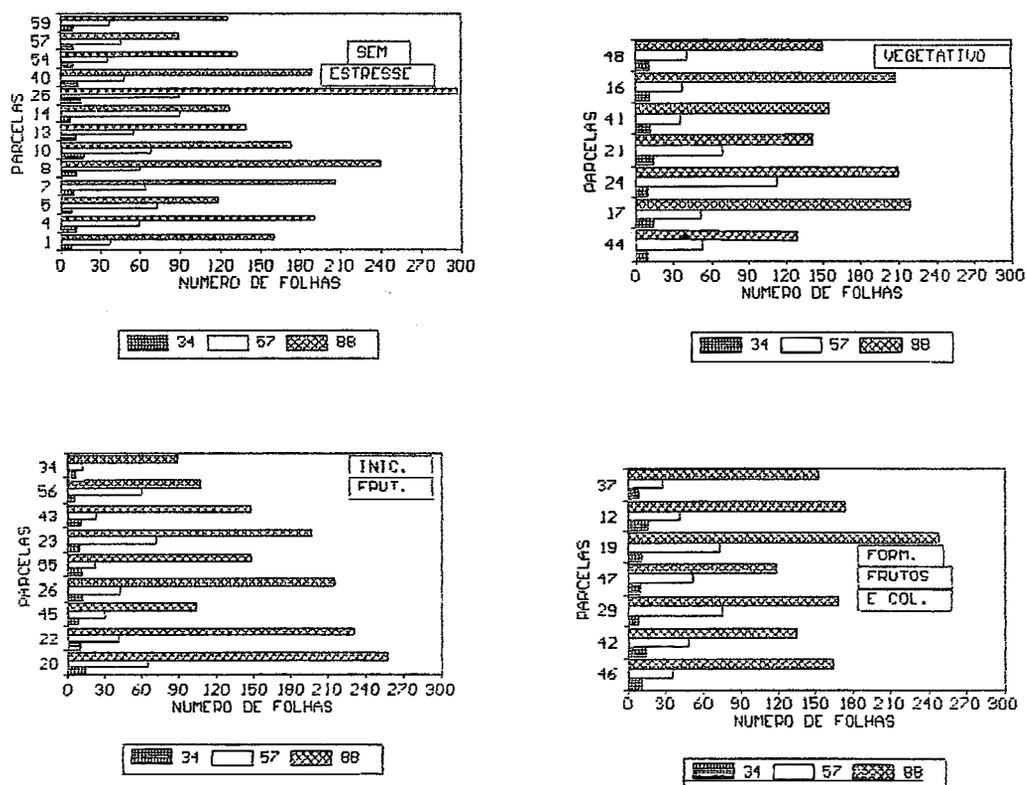


Figura 24 - Número médio de folhas por planta medido ao longo do ciclo, nos diferentes grupos de parcelas (O número da legenda corresponde ao número de dias após o transplante em que foram feitas as medidas).

Embora os números médios entre os diferentes grupos obtidos na última observação (14/04- 88 dias após o transplante) não mostrassem diferenças entre si e com o número médio das parcelas sem estresse, houve grande variação entre parcelas dentro de um mesmo grupo.

Aquelas parcelas que receberam estresse no período vegetativo apresentaram um maior número médio de folhas (175 e desvio padrão de 37,20) em relação inclusive às parcelas sem estresse. A respeito dos valores médios encontrados entre os diferentes grupamentos de parcelas (entre 165 a 168 folhas, com desvios padrões de 41,13 a 60,97) não é possível maiores discussões, porque embora os valores encontrados por MINAMI (1977) tenham sido bem inferiores, para aproximadamente a mesma fase do ciclo (número de dias após o transplante), em uma densidade de plantio muito semelhante, as cultivares estudadas são diferentes, ficando difícil separar aquilo que não seria também função das características genéticas dominantes.

Foram testadas relações entre número de folhas, produção e índice de estresse. Somente para as parcelas que receberam estresse no período vegetativo obteve-se uma relação significativa entre número de folhas e produção. A figura 25 mostra uma relação que apresentou bom ajuste ($r = 0,9333$), embora não tenha sido a melhor relação obtida entre as várias testadas. Sob o ponto de vista estatístico e físico, é a que explicou melhor a produção em função do número de folhas. Entretanto, deve-se ressaltar o pequeno número de

pontos, a falta de valores entre 160 e 210 folhas e o único ponto para produção abaixo de 8 ton/ha.

Desse modo, não é possível uma melhor definição se o ajuste obtido representa o comportamento da variedade, inclusive com um valor ideal de número de folhas em torno de 180 por planta. Melhores estudos seriam necessários, inclusive para explicar o porquê desse tipo de ajuste só ter sido conseguido quando o estresse ocorreu no período vegetativo.

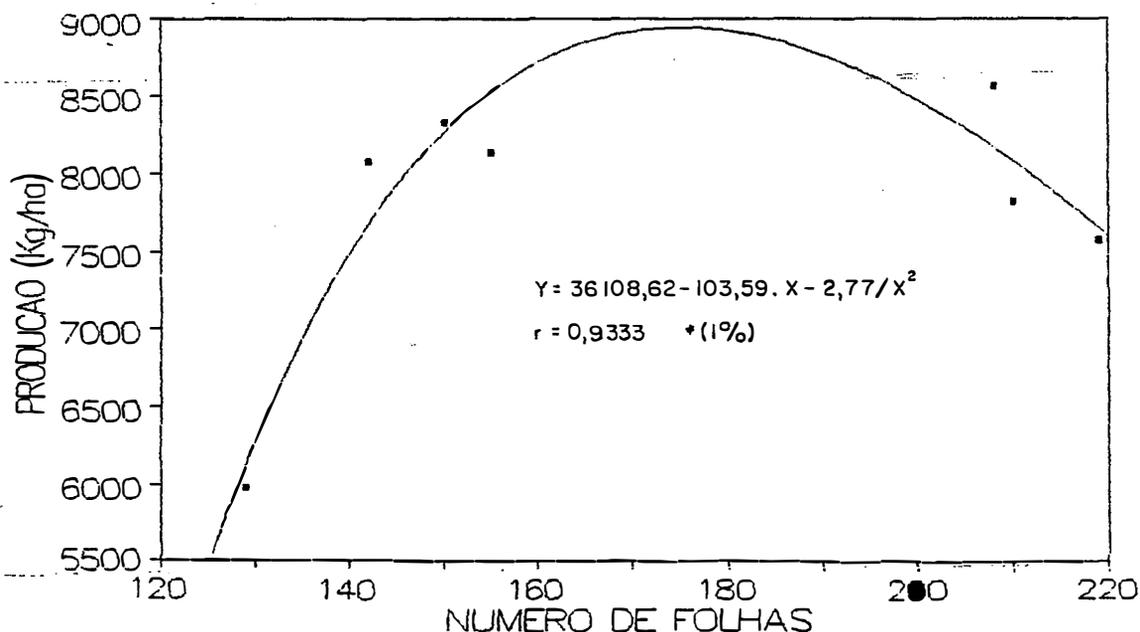


Figura 25 - Relação quantitativa entre número de folhas e produção quando o déficit ocorreu no período vegetativo.

Uma relação linear entre número de folhas em função do déficit de evapotranspiração relativa, para o período vegetativo, foi obtida (figura 26). Apesar da regressão linear ter apresentado um valor de $r = 0,8018$,

significativo ao nível de 5% pelo teste T empregado, sugerindo um bom nível de confiabilidade, há que se ressaltar o pequeno número de pontos empregados mostrando que seria interessante posteriores averiguações.

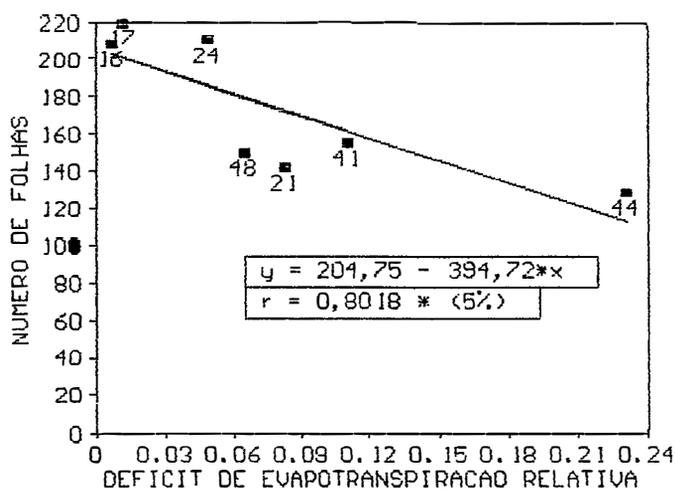


Figura 26 - Relação quantitativa entre déficit de evapotranspiração relativa, no período vegetativo, e número de folhas.

O número médio de frutos aos cento e um dias após o transplante (27/04) não mostrou variações entre os diferentes grupamentos de parcelas (figura 27). Entretanto, encontrou-se uma boa variabilidade (1 a 5) entre as parcelas, inclusive naquelas que não receberam estresse hídrico. A análise dos dados mostra que na primeira determinação (06/04) havia maior homogeneidade entre as parcelas. Nas três semanas seguintes, as diferenças se acentuaram mostrando o caráter bastante dinâmico da formação de frutos.

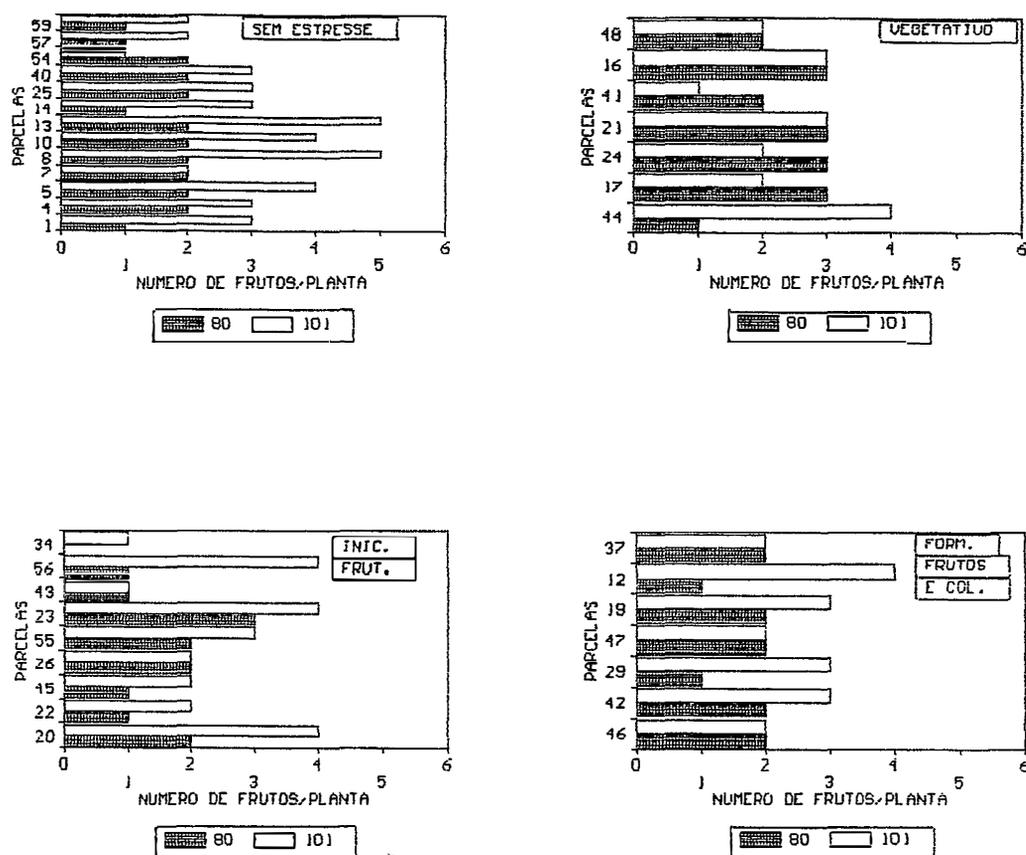


Figura 27 - Número médio de frutos por planta medido durante o ciclo da cultura (O número da legenda corresponde ao número de dias após o transplante em que foram feitas as medidas).

O grupo de parcelas que sofreram estresse no período vegetativo mais acentuadamente, mostrou que o número de frutos tende a diminuir com o envelhecimento da planta, conforme afirma MINAMI (1977), porém, os demais grupamentos de parcelas mostraram uma tendência de aumento desse número, sugerindo que o comportamento do parâmetro não pode ser apreciado de forma genérica, pois depende do grau de estresse sofrido e do período fenológico em que ele ocorreu. É

interessante notar também que nas parcelas sem déficit há algumas com 5 frutos/planta, o que não acontece nas parcelas com déficit.

O número médio de flores por planta (figura 28) mostrou uma boa variabilidade entre parcelas e até mesmo entre os diferentes grupamentos, inclusive nas parcelas que não receberam estresse hídrico (3 a 7) durante a última medida (27/04- 101 dias após o transplante).

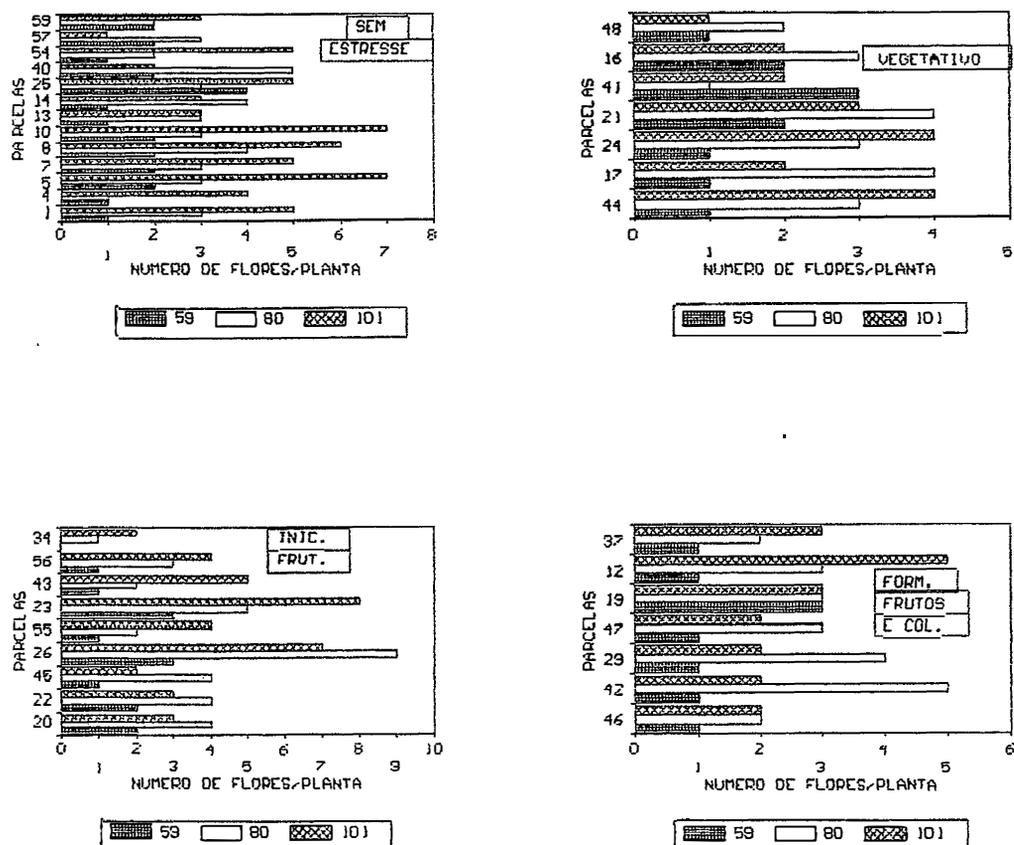


Figura 28 - Número médio de flores por planta medido durante o ciclo da cultura (O número da legenda corresponde ao número de dias após o transplante em que foram feitas as medidas).

A exemplo do número de frutos, o número de flores para as parcelas com estresse no período vegetativo também mostrou uma tendência de diminuir, conforme afirma MINAMI (1977), enquanto os demais grupamentos apresentaram uma tendência de aumento, apontando para caracterizações não tão genéricas a respeito do parâmetro. Há que se ressaltar que o grupo de parcelas que sofreram estresse no início da frutificação é que apresentaram a maior variação (2 a 8).

As primeiras medidas (16/03 e 06/04 - 59 e 80 dias após o transplante, respectivamente) apresentaram maior homogeneidade entre parcelas e entre grupamentos de parcelas em relação à última medida realizada (27/04 - 101 dias após o transplante), mostrando que à medida que o crescimento e desenvolvimento da cultura ocorrem, provavelmente, características intrínsecas à variedade, passam a exercer papel importante no seu desempenho.

Para caracterizar a qualidade do fruto obtido para fins de comercialização (TABELA 8) adotou-se três grupamentos conforme metodologia descrita no item 3.11.

Tabela 8 - Classificação dos frutos obtidos em termos percentuais (%), nas parcelas sem e com estresse hídrico.

SEM ESTRESSE			VEGETATIVO				
PARC.	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	PARC.	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
1	21,43	78,57		44	33,33	66,67	
4	37,50	62,50		17	5,88	88,24	5,88
5	22,22	77,78		24	55,56	44,44	
7	47,06	52,94		21	23,53	70,59	5,88
8	50,00	50,00		41	41,18	58,82	
10	40,00	60,00		16	16,67	77,78	5,55
13	33,33	66,67		48	33,33	61,11	5,56
14	31,25	68,75					
25	27,78	72,22					
40	16,67	72,22	11,11				
54	33,33	66,67					
57	40,00	60,00					
59	27,78	72,22					
MÉDIA	32,95	66,19	0,85		29,93	66,81	3,27

Tabela 8 - (continuação) Classificação dos frutos obtidos em termos percentuais (%) nas parcelas sem e com estresse hídrico.

INÍCIO FRUTIFICAÇÃO			FORM. FRUTOS E COL.				
PARC.	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	PARC.	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
20	44,44	50,00	5,56	46	13,33	80,00	6,67
22	50,00	50,00		42	33,33	61,11	5,56
45	17,65	82,35		29	23,53	76,47	
26	38,89	61,11		47	41,18	52,94	5,88
55	25,00	68,75	6,25	19	33,33	66,67	
23	50,00	38,89	11,11	12	41,18	47,06	11,76
43	58,33	41,67		37	13,33	86,67	
56	26,67	66,67	6,67				
34	22,22	66,67	11,11				
MÉDIA	37,02	58,46	4,52		28,46	67,27	4,27

A percentagem de frutos bons foi maior para as parcelas que sofreram estresse no início da frutificação, sendo este valor um pouco acima daquele obtido para as

parcelas sem estresse hídrico, o que sugere que uma certa intensidade de déficit durante um dado período fenológico pode produzir efeitos benéficos na qualidade da produção obtida, embora o percentual de frutos não comercializáveis tenha aumentado de forma significativa (4% aproximadamente em relação às parcelas sem estresse hídrico).

A exemplo dos demais parâmetros, a variabilidade dos dados entre parcelas mostrou que esse tipo de caracterização merece outros estudos mais detalhados sobre os fatores indutores desse comportamento, mesmo porque os graus de estresses foram variáveis entre as parcelas de um determinado grupamento. Essa desuniformidade de distribuição dos dados, possivelmente prejudicou o estabelecimento de relações quantitativas aceitáveis entre percentagem de frutos defeituosos e os índices de estresses estudados.

Além disso, não há referências na literatura sobre essas informações o que dificulta ainda mais outras possíveis avaliações.

4.4. Aspectos Metodológicos

Apesar de ter ocorrido influência dos fatores não controláveis no estudo, estes não prejudicaram os resultados.

A discussão sobre a eficiência do método de irrigação por gotejamento para melhoria da produção ficou prejudicada uma vez que, embora tenha-se utilizado uma vazão

muito próxima daquela utilizada por VIEIRA (1973), empregou-se outra variedade, em situações de estresse hídrico, dificultando ainda mais outras possíveis comparações. Especialmente porque, na grande maioria dos trabalhos desenvolvidos, prevalece os métodos de aspersão ou sulcos de infiltração e, praticamente, não existem dados sobre produção potencial da cultura na literatura.

Salienta-se que a opção por esse sistema de irrigação ocorreu em função desse aplicar água em pequenas quantidades, não acarretando problemas de aeração do solo e nem maiores perdas da água aplicada, podendo se constituir em uma alternativa para cultivos em regiões montanhosas, segundo VIEIRA (1973).

Considerando as metodologias utilizadas para caracterizar o nível de água no solo, verificou-se que o balanço hídrico no solo empregado para estimar a relação E_{ta} / E_{tm} apesar de ter sido o método mais preciso, contém erros nele embutidos, os quais devem ter influenciado a diferença entre os valores de água disponível no solo dessa forma estimados e aqueles calculados nas figuras de AD / CAD . Ainda mais se considerarmos que esses dados de água disponível dependem dos valores medidos de água no solo através de aparelhos, no caso tensiômetros.

Outro fator associado às medidas de umidade no solo foi o critério de irrigação, onde a irrigação conjunta dos tratamentos em estresse era bastante prática a nível de manejo no campo, porém, como colocou-se

anteriormente, deve ter gerado a aplicação de uma lâmina de água maior do que a necessária em alguns tratamentos, uma vez que não se considerava a variabilidade espacial da área, ocasionando, em média, valores de graus de estresse muito reduzidos.

Um dado interessante produzido pela adoção desse critério de irrigação, para os tratamentos em estresse, foi que o intervalo de irrigação pode se estender até 16 dias sem prejuízos acentuados na produção, ao contrário do que preconizavam informações de Minami¹¹ sobre as práticas adotadas pelos agricultores de intervalos sistemáticos de, no máximo, 4 dias sem irrigação. Isto é importante porque vem de encontro a informações de BEHBOUDIAN (1977a) de que a berinjela não deve ser tão exigente em água como a maioria das hortaliças baseado no fato de que os valores de conteúdo relativo de água e potencial de pressão das plantas quando submetidas a estresse hídrico sempre permanecem mais elevados do que outras herbáceas C₃, além do seu potencial de pressão só igualar-se a zero quando o potencial da água na planta for igual a -2,35 MPa o que para tomate e couve flor ocorre a valores de potencial de -1,78 e 1,57 MPa, respectivamente. CORNILLON e DAUPLE (1981) também mostraram que os estômatos das plantas de berinjela mantêm uma boa abertura mesmo com os baixos valores de potenciais, sendo que para valores entre -1,50 e 2,00 MPa a resistência à transpiração é menor do que 6,5 s.cm⁻¹.

Por último, constatou-se que a aplicação de

metodologias que sistematizem irrigações em culturas de hábito indeterminado é muito complexa porque a delimitação dos períodos fenológicos é de difícil controle, especialmente quando se trata da caracterização do número de colheitas completas (100% das plantas produzindo o mesmo número de frutos colhidos) como ocorreu nesse estudo quando procurou-se determinar o número de colheitas produzidas após a terceira.

5. CONCLUSÕES

Com esses resultados obteve-se as seguintes conclusões:

- 1 - os valores de **Ky** (fator de sensibilidade da cultura) obtidos permitiram quantificar a sensibilidade da cultura ao estresse hídrico e mostraram, como menciona a literatura, que os períodos de abertura de gema floral e início de frutificação, em berinjela, são os mais sensíveis a esse tipo de estresse;
- 2 - o critério de irrigação através da estimativa de evapotranspiração real da cultura (**E_{ta}**) como foi proposto por DOORENBOS e KASSAM(1979) não se mostrou satisfatório por não permitir a adoção de lâminas e frequências de irrigação uniformes nos diferentes períodos fenológicos;
- 3 - a imposição do estresse hídrico leve a moderado nos diferentes períodos fenológicos não provocou influência na duração do ciclo da cultura;
- 4 - dentre os parâmetros de crescimento estudados, o número de folhas é o que melhor se relacionou com a produção e também com os índices de estresse hídrico estudados;
- 5 - os intervalos de irrigação utilizados, especialmente nos tratamentos em estresse, mostraram que a cultura da

berinjela não deve ser tão exigente em água como a maioria das hortaliças, sugerindo que um estudo mais aprofundado a respeito das suas características de resistência à seca poderia trazer informações muito importantes sobre a sua produção potencial.

6. SUGESTÕES

Tendo em vista os problemas verificados neste trabalho, ao se tentar aplicar em condições de campo o delineamento experimental proposto em DOORENBOS e KASSAM (1979), para estudo de resposta de culturas à deficiência hídrica no solo, julgou-se conveniente apresentar as seguintes sugestões para estudos futuros :

- 1 - fixar a frequência de irrigação e a lâmina de água a ser aplicada em cada período fenológico;
- 2 - diminuir o número de tratamentos e, conseqüentemente, de combinações e parcelas, repetindo o estudo em pelo menos três épocas de plantio em anos diferentes;
- 3 - promover uma análise física e química cuidadosa do solo em estudo, definindo em experimentações preliminares na área, critérios e métodos de medida da umidade do solo, capacidade de campo, água disponível e profundidade efetiva do sistema radicular bem como o número de repetições necessário;
- 4 - utilizar, preferencialmente, como métodos de medida de evapotranspiração, evapotranspirômetros ou lisímetros utilizando o tanque Classe A para fins de manejo da irrigação;

- 5 - escolher uma cultura que possua o maior número possível de informações sobre o seu comportamento fenológico e morfofisiológico ou uma cultura que permita uma delimitação a mais precisa possível de seus períodos fenológicos, especialmente no que se trata do seu período de produção;
- 6 - definir, antecipadamente, possíveis medidas de crescimento e/ou desenvolvimento da cultura que possam indicar um suposto efeito de estresse hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAIRD, J.R.; GALLAGHER, J.N.; REID, J.B. Modeling the influence of flood irrigation on wheat and barley yields: a comparison of nine different models. In: HILLEL, D., ed. **Advances in Irrigation**. New York, Academic Press, 1987. v.4, p.242-306.
- BARRETT, J.W. & SKOGERBOE, G.V. Crop production functions and the allocation and use of irrigation water. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, 3(1): 53-64, 1980.
- BEHBOUDIAN, M. H. Responses of eggplant to drought. I. Plant water balance. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, 7(4): 303-10, 1977a.
- BEHBOUDIAN, M.H. Responses of eggplant to drought. II. Gas exchange parameters. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, 7(4): 311-7, 1977b.
- BERNARDI, J.B. Variedades de berinjela e época de plantio. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 08 set. 1965. Suplemento Agrícola.
- BERNARDI, J.B. **Instruções para a cultura da berinjela**. Campinas, IAC, 1968. 20p. (IAC. Boletim, 181)
- BÜLLER, O.; MANGES, H.L.; STONE, L.R.; WILLIAMS, J.R. Modeled crop water use and soil water drainage. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, 19(2): 117-34, 1981.
- CORNILLON, P. & DAUPLE, P. Influence of irrigation rhythm and water supply on growth water status and yield of egg-plant (*Solanum melongena* L.) **Plant and Soil**, Dordrecht, 59(3): 365-79, 1981.
- DAUNAY, M.C. & MALET, P. Influences réciproques des racines et des parties aériennes sur le rendement de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) : résultats de greffages inter-variétaux. **Agronomie**, Paris, 6(3): 293-7, 1986b.

- DAUNAY, M.C. ; MALET, P. ; SHOCH, P.G. Facteurs agro-climatiques influençant la résistance stomatique de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) **Agronomie**, Paris, 6(7): 615-22, 1986a.
- DAUNAY, M.C.; SCHOCH, P.G.; MALET, P. Fréquences de stomatiques de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) et relations avec le développement racinaire. **Agronomie**, Paris, 6(6): 523-8, 1986b.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.A. **Yield response to water**. Rome, FAO 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOURADO NETO, D. Variabilidade espacial das alturas de chuva e irrigação e de potencial da solução do solo. Piracicaba, 1989. 180p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- DOWNEY, L. Water yield relations for nonforage crops. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, 98(IR1): 107-15, 1972.
- DUGAS, W.A. & AINSWORTH, C.G. Effect of potential evapotranspiration estimates on crop model simulations. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, 28(2): 471-5, 1985.
- FAO Yearbook Annuaire Production, Rome, 1993, v.47, 254p.
- GIL, O.F. Água e adubação na cultura do pimentão (*Capsicum annum* L.), Piracicaba, 1987. 45p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- GROPPO, G.A. & TESSARIOLI NETO, J. A cultura da berinjela e as doenças. **Correio Agrícola**, São Paulo, p.772-7, 1987.
- HAFFEZ, A.T.A. & CORNILLON, P. Effects of irrigation rhythm on growth fruit-set, yield and quality of egg-plant (*Solanum melongena* L.) in Southern France. **Plant and Soil**, Dordrecht, 45(1): 213-25, 1976.
- HAGAN, R.M. & STEWART, I.J. Water deficits irrigation desing design and programming. **Journal of the Irrigation and Drainage Divison**, New York, 98(IR2): 215-37, 1972.
- HANKS, R.J. & HILL, R.W. **Modeling crop responses to irrigation in relation to soils, climate and salinity**. Utah, International Irrigation Information Center, 1980, 66p. (Publication, 6).
- HOWELL, T.A. & HILER, E.A. Optimization of water use efficiency under high frequency irrigation - I. Evapotranspiration and yield relationship. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, 18(5): 873-8, 1975.

- IBGE, Censo Agropecuário, Rio de Janeiro, 1985, nº.1, 399p.
- KATERJI, N.; SHOCH, P.G.; RIMGOTO, P.; L'HOTEL, J.C.. Diagnostic des périodes de contrainte hydrique chez des plantes d'aubergine cultivées in serre, au moyen des microvariations des tiges. **Agronomie**, Paris, 10(7): 541-9, 1990.
- LATIMER, J.G. & MITCHELL, C.A. Effects of mechanical stress or abscisic acid on growth, water status and leaf abscisic acid content of eggplant seedlings. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, 36(1/2): 37-46, 1988.
- LEME, E.J.A. Otimização da irrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) via coeficientes culturais, função de produção e programação dinâmica. São Carlos, 1991. 339p. (Doutorado - Universidade Federal de São Carlos).
- LUCCHESI, A.A.; MINAMI, K.; NAVARRO, J.R.; FLORÊNCIO, A.C.. Desenvolvimento vegetativo da berinjela (*Solanum melongena L.*) em função do volume de terra disponível. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, 35: 271-82, 1978.
- LYNNE, G.O. & CARRIKER, R.R. Crop response information for water institutions. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, 105(IR3): 221-32, 1973.
- MAKISHIMA, N. **Produção de hortaliças em pequena escala**. Brasília, EMBRAPA/CNPQ, 1983. 23p. (CNPQ. Instruções Técnicas, 6).
- MENEZES, J.T. Efeito de diferentes lâminas de água na produção de sementes de cebola (*Allium cepa L.*). Piracicaba, 1990. 67p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- MINAMI, K. Análise de crescimento e densidade de população de *Solanum melongena L.* - berinjela, cultivada em delineamento sistemático e convencional. Piracicaba, 1977. 81p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- MOGENSEN, V.O.; JENSEN, H.E.; RAB, M.A. Grain yield, yield components, drought sensitivity and water use efficiency of spring wheat subjected to water stress at various growth stages. **Irrigation Science**, New York, 6(2): 131-40, 1985.
- MORAES, S.O. Heterogeneidade hidráulica de uma terra roxa estruturada. Piracicaba, 1991. 141p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).

- MOURA, M.C.F. de. Determinação do consumo de água para a cultura do milho (*Zea mays* L.) pelo método lisimétrico. Piracicaba, 1990. 94p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- MOURA, M.V.T. de. Determinação do consumo de água na cultura da cenoura (*Daucus carota* L.) através de métodos lisimétricos e balanço hídrico sob condições de campo. Piracicaba, 1992. 84p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- MURAYAMA, S. A cultura da berinjela. In: -----
Horticultura. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1992. p.275.
- NOTHMANN, J.; RYLSKI, I.; SPIGELMAN, M. Flowering - pattern, fruit growth and color development of eggplant during the cool season in a subtropical climate. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, **11**(3): 217-22, 1979.
- NOTHMANN, J & RYLSKI, I. Effects of floral position and cluster size on fruit development in eggplant. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, **19**(1/2): 19-24, 1983.
- OWEIS, T.Y.; SHAWI, I.O.; HATANAWI, M.R. Irrigation production function and crop coefficients of potato in the Jordan Valley. **Dirasat**, Jordan, **15**(10): 43-55, 1988. Apud **Field Crop Abstracts**, Wallingford, **43**(3): 259, Mar. 1990. (Resumo).
- PAULETTO, E.A. Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. Piracicaba, 1986. 135p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- PIMENTEL, A.A.M.P. Olericultura no trópico úmido. In:-----
Hortaliça na Amazônica. São Paulo, Agronômica Ceres, 1985. p.197-203.
- PIRES, R.C.M.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; BORTOLLETO, N. Estudo da profundidade do sistema radicular das culturas do feijão e trigo sob pivô-central. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., Piracicaba, 1980. **Anais**. Piracicaba, SBEA, 1990. v.1, p.349-59.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **12**(3): 211-6, 1988.
- ROSA, S.D.V.F. da. Efeito das profundidades de semeadura e de molhamento do solo sobre o estabelecimento do estande e desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1990. 65p. (Mestrado

-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" /USP).

- RYLSKI, I.; NOTHMANN, J.; SPIEGELMAN, M. Effects of soil temperature on the development of young eggplants (*Solanum melongena* L.). **Experimental Agriculture**, Cambridge, **12**: 273-7, 1976.
- SAAD, A.M. Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô central em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba. 1991. 144p (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- SARMA. & SIVAKUMAR, M.V.K. Response of groundnut to drought stress in different growth phases. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, **15**(3): 301-10, 1989.
- SCÁRDUA, R. Porosidade livre de água de dois solos do município de Piracicaba. Piracicaba, 1972. 83p. (Mestrado-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" /USP).
- SCÁRDUA, R. O clima e a irrigação na produção agro-industrial de cana-de-açúcar. Piracicaba, 1985. 122p. (Livre-Docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- SERRANO, L.; CARBONELL, X.; SAVÉ, R; MARFÁ, O.; PEÑUELAS, J. Effects of irrigation regimes on the yield and water use of strawberry. **Irrigation Science**, New York, **13**(1): 45-8, 1992.
- SGANZERLA, E. A cultura da berinjela. In : ----- . **Nova agricultura** : a fascinante arte de cultivar com os plásticos. Porto Alegre, Petroquímica Triunfo, 1990. p.157-9.
- SHALHEVET, J.; HEVER, B.; MEIRI, A. Irrigation interval as a factor in the salt tolerance of eggplant. **Irrigation Science**, New York, **4**(2): 83-93, 1983.
- SHANAN, L. Cropping systems and water demand. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, **22**(1/2): 81-104, 1992.
- SHIH, S.F. & SNYDER, G.H. Evapotranspiration and water use efficiency of taro. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, **27**(6): 1745-8, 1984.
- SILVA, A.P. da. Variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo. Piracicaba, 1988. 105p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- SINGH, P.; WOLKEWITZ, H.; KUMAR, R. Comparative performance of different crop production functions for

- wheat (*Triticum aestivum* L.). **Irrigation Science**, New York, 8(4): 273-90, 1987.
- SINGH, P.K.; MISHRA, A.K.; IMTIYAZ, M. Moisture stress and the water use efficiency of mustard. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, 20(3): 245-53, 1991.
- STEGMAN, E.C. Irrigation scheduling : applied timing criteria. In: HILLEL, D., ed. **Advances in Irrigation**. New York, Academic Press, 1983. v.2, p.1-28.
- STEWART, B.A. & MUSICK, J.T. Conjunctive use of rainfall and irrigation and semiarid region. In: HILLEL, D., ed. **Advances in Irrigation**. New York, Academic Press, 1982. v.1, p.1-23.
- STEWART, J.I. Prediction of water production functions and associated irrigation programs to minimize crop yield and profit losses due to limited water. Davis, 1972. 182p. (PhD - University of California).
- STEWART, J.I. & HAGAN, R.M. Functions to predict effects of crop water deficits. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, 99(IR4) : 421-39, 1973.
- STEWART, J.I.; HAGAN, R.M.; PRUITT, W.O. Functions to predict optimal irrigation programs. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, 100(IR2) : 179-99, 1974.
- STEWART, J.I.; MISRA, R.D.; PRUITT, W.O.; HAGAN, R.M. Irrigating corn and grain sorghum with a deficient water supply. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, 18(2) : 270-80, 1975.
- SUN, W; WANG, D.; WU, Z.; ZHI, J. Seasonal change of fruit setting in eggplants (*Solanum melongena* L.) caused by different climatic conditions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, 44(1/2): 55-9, 1990.
- TEODORO, R.E.F. Efeitos da irrigação no crescimento e produção do pimentão (*Capsicum annuum* L.) conduzido em casa de vegetação e em condições de campo. Piracicaba, 1986. 67p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).
- UNDERSANDER, D.J. Alfafa (*Medicago sativa* L.) growth response to water and temperature. **Irrigation Science**, New York, 8 (1): 23-33, 1987.
- VAN GENUTCHEN, M. P. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of an saturated soils. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, 44: 892-98p. 1980.

- VAUX Jr, H.J. & PRUITT, W.O. Crop-water production functions.
In : HILLEL, D., ed. **Advances in Irrigation**. New York,
Academic Press, 1983. v.2, p. 61-97.
- VAUX Jr, H.J.; PRUITT, W.O; HATCHETT, S.A; SOUZA, F. de.
Optimization of water use with respect to crop production.
Davis, Califórnia Department of Water Resources, 1981.
174p. (Technical Completion Report, 13-53395).
- VIEIRA, D.B. Estudo da irrigação por gotejamento na cultura
da berinjela (*Solanum melongena L.*). Limeira, 1973. 80p.
(Doutorado - Universidade Estadual de Campinas).
- VILLAGRA, M.M. de las. Variabilidade de medidas de
tênsiômetros tênsiômetros em terra roxa estruturada.
Piracicaba, 1988. 64p. (Mestrado - Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).