

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

PARÂMETROS BÁSICOS
PARA A IRRIGAÇÃO SISTEMÁTICA DO
GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)

EVANDRO MACHADO GOMES

ORIENTADOR: DR. DIRCEU BRASIL VIEIRA

Tese de Doutorado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil, na área de Concentração Recursos Hídricos.

CAMPINAS - SP

2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

G585p Gomes, Evandro Machado
 Parâmetros básicos para a irrigação sistemática do
 girassol (*Helianthus annuus* L.) / Evandro Machado
 Gomes.- Campinas, SP: [s.n.], 2005.

 Orientador: Dirceu Brasil Vieira.
 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
 Urbanismo.

 1. Girassol - Cultivo. 2. Irrigação. 3. Plantas
 oleaginosas. 4. Girassol - Raízes. I. Vieira, Dirceu
 Brasil. II. Universidade Estadual de Campinas.
 Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
 Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: The effect of supplementary irrigation on same sunflower
(*Helianthus annuus* L) parameters.

Palavras-chave em Inglês: Sunflowers – Culture, Oil seed plants, Irrigation,
Sunflowers – Roots.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Titulação: Doutorado

Banca examinadora: Maria Regina Gonçalves Ungaro, Fernando Braz Tangerino
Hernandez, Abel Maia Genovez e Antônio Carlos Zuffo.


Data da defesa: 23.02.2005

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**PARÂMETROS BÁSICOS PARA A IRRIGAÇÃO SISTEMÁTICA DO
GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

Evandro Machado Gomes

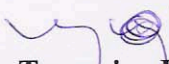
Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



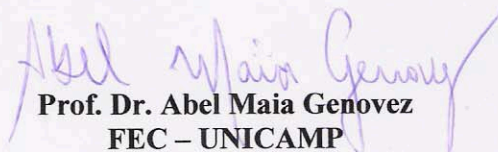
**Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira
Presidente e Orientador FEC - UNICAMP**



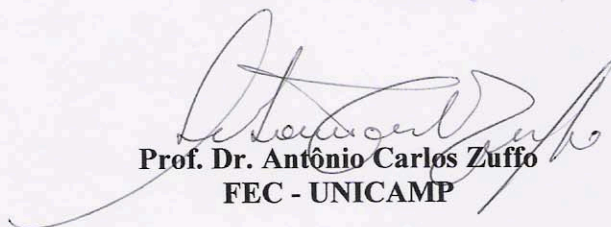
**Prof. Dra. Maria Regina Gonçalves Ungaro
IAC - Campinas**



**Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez
UNESP - Ilha Solteira**



**Prof. Dr. Abel Maia Genovez
FEC - UNICAMP**



**Prof. Dr. Antônio Carlos Zuffo
FEC - UNICAMP**

Campinas, 23 de fevereiro de 2005.

Dedico à
Zuleika Roland Machado Gomes

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira, pela orientação, estímulo e apoio dado para o desenvolvimento deste trabalho.

À Dra. Maria Regina Gonçalves Ungaro, cujo apoio e incentivo foram fundamentais para a realização deste trabalho. A cooperação segura e eficiente, sempre pautada pela cordialidade e amizade foi definitiva para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Abel Maia Genovez pelas suas idéias e cooperação na realização deste trabalho através do exame de qualificação.

À Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, pela oportunidade em especial para todos os funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Aos funcionários Sr. Benedito Dragone, Sr. Tarcísio de Lima Ribeiro e Sr. Marcelo Balbino, por todo apoio, amizade, colaboração e hábil assessoramento nos trabalho e ensaios de campo.

Ao Instituto Agrônômico de Campinas, através do Centro de Grãos e Fibras e funcionários, pelo suporte técnico e colaboração nos estudos da fisiologia da planta.

À Prefeitura Municipal de Limeira, Secretaria de Agricultura – Horto Florestal Municipal, e funcionários, por todo apoio e colaboração durante a realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de estudo, e apoio financeiro; processo 00/10780-3.

Aos colegas de turma pelo companheirismo e amizade, com que me assistiram no curso.

ÍNDICE

	PÁGINA
CAPA	<i>0</i>
CAPA ROSTO	<i>i</i>
FICHA CATALOGRÁFICA	<i>ii</i>
APROVAÇÃO	<i>iii</i>
DEDICATÓRIA	<i>v</i>
AGRADECIMENTOS	<i>viii</i>
ÍNDICE	<i>x</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>xii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xv</i>
LISTA DE SÍMBOLOS	<i>xix</i>
RESUMO	<i>xxiii</i>
ABSTRACT	<i>Xxv</i>
1. INTRODUÇÃO	<i>1</i>

2. OBJETIVO	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1. CULTURA DE GIRASSOL	7
3.2. DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA	9
3.3. ESTUDO DO SISTEMA RADICULAR	12
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1. LOCALIZAÇÃO	17
4.2. CLIMA	17
4.3. PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO	18
4.4. PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	19
4.4.1. Densidade Global	19
4.4.2. Peso Específico Real	21
4.4.3. Granulométrica	23
4.4.4. Curva de Retenção de Água	24
4.5. CULTURA DO GIRASSOL	26
4.6. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	27
4.7. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	27
4.8. CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	29
4.9. TURNO DE IRRIGAÇÃO	33
4.10. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	34
4.11. UMIDADE DO SOLO	35
4.12. ESTUDO DO SISTEMA RADICULAR	36
4.12.1. Metodologia de Presença e Ausência de Raízes	36

4.12.2. Metodologia do Trado	38
4.13. PARÂMETROS FISIOLÓGICOS	40
4.14. EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1. GRANULOMETRIA	45
5.2. PESO ESPECÍFICO REAL	47
5.3. DENSIDADE GLOBAL	48
5.4. CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA	49
5.5. AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO	51
5.6. PRECIPITAÇÃO AFERIDA	53
5.7. ESTUDO DO SISTEMA RADICULAR	54
5.7.1. Metodologia de Presença e Ausência de Raízes	54
5.7.2. Metodologia do Trado	63
5.8. PARÂMETROS DE PRODUÇÃO	67
5.8.1. Altura e Diâmetro	69
5.8.2. Fitomassa	71
5.8.3. Produção	78
5.8.4. Altura das Plantas	80
5.9. DEMANDA HÍDRICA	82
5.10. TEOR DE ÓLEO E PROTEÍNA	85
6. CONCLUSÕES	89
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Abertura da trincheira.	37
2	Tela reticulada no perfil do solo.	38
3	Trado coletor de amostras de solo.	38
4	Amostras a 10 e 20 centímetros da planta.	39
5	Amostra de solo no cilindro.	39
6	Esquema de instalação de um lisímetro de nível constante.	42
7	Curva característica da água no solo no Campo de Pesquisa – Unicamp e no Horto Florestal de Limeira, analisando o perfil do solo de 0 a 100 cm.	49
8	Precipitação mensal durante os meses de ensaio nos três anos.	53
9	Resultados do número médio de raízes por quadrícula, no ano de 2001.	58

10	Resultados do número médio de raízes por quadricula, no ano de 2002.	58
11	Resultados do número médio de raízes por quadricula, no ano de 2003.	59
12	Diferenciação do sistema radicular do girassol sob os tratamentos <i>Sem Irrigação</i> (esquerda) e <i>Sempre Irrigado</i> (direita).	66
13	Massa seca da haste.	67
14	Massa seca do capítulo.	67
15	Massa seca das folhas.	68
16	Gráfico do número de folhas e altura de plantas durante o desenvolvimento do girassol, no Horto Municipal de Limeira, no ano de 2003.	74
17	Aspecto da cultura no tratamento <i>Sempre Irrigado</i> .	75
18	Aspecto da cultura no tratamento <i>Irrigado nas Fases</i> .	76
19	Aspecto da cultura no tratamento <i>Sem Irrigação</i> .	76
20	Gráfico das alturas de plantas durante o desenvolvimento do girassol, no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp, no ano de 2001.	80
21	Gráfico das alturas de plantas durante o desenvolvimento do girassol, no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp, no ano de 2002.	81
22	Gráfico das alturas de plantas durante o	82

desenvolvimento do girassol, no Horto Municipal de Limeira, no ano de 2003.

23	Coeficiente da cultura (k_c) obtido em diferentes fases da cultura.	83
----	---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Resultado da análise de solo no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp.	18
2	Resultado da análise de solo no Horto Florestal de Limeira.	18
3	Granulometria do solo no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp - e no Horto Florestal de Limeira.	45
4	Densidade Real do solo (g.cm^{-3}) no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp - e no Horto Florestal de Limeira.	47
5	Densidade Global do solo (g.cm^{-3}) no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp - e no Horto Florestal de Limeira.	48
6	Lâmina média coletada (\bar{h}), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de	52

Christiensens (CUC), Intensidade de aplicação (I), Lâmina bruta aplicada (H) e Eficiência de Aplicação (E_a) determinados na avaliação completa do sistema de irrigação no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp - e no Horto Florestal Municipal de Limeira.

- | | | |
|----|--|----|
| 7 | Distribuição de raízes pelo método de presença e ausência, nos tratamentos <i>Sempre Irrigado</i> , <i>Irrigado nas Fases</i> e <i>Sem Suplementação Hídrica</i> . | 55 |
| 8 | Médias do número de raízes obtidas pelo método de presença e ausência, nas profundidades 0 – 10, 10- 20, 20 – 30, 30 – 40, 40 – 50, 50 – 60, 60 – 70 e 80 – 90; nos tratamentos <i>Sempre Irrigado</i> , <i>Irrigado nas Fases</i> e <i>Sem Suplementação Hídrica</i> nos anos amostrados. | 57 |
| 9 | Resultados do número médio de raízes por quadricula avaliada no perfil do solo. | 60 |
| 10 | Número total de raízes encontradas no perfil do solo, valor correspondente a 80% da quantidade de raízes acumuladas ao longo do perfil, quantidade acumulada de raízes até 20 centímetros de profundidade e profundidade efetiva encontrada nos diferentes tratamentos estudados. | 61 |
| 11 | Distribuição de raízes em mg.cm^{-3} , pelo método trado, no perfil de 0 a 30 centímetros, com incrementos de 10 cm de profundidade, nos tratamentos <i>Sempre Irrigado</i> , <i>Irrigado nas Fases</i> e <i>Sem Suplementação Hídrica</i> nos anos | 64 |

	amostrados.	
12	Resultados médios da altura de planta, em centímetros.	69
13	Resultados médios do diâmetro do capítulo, em centímetros.	70
14	Resultados médios da massa seca da haste, em gramas.	71
15	Resultados médios da massa seca do capítulo, em gramas.	72
16	Resultados médios da massa seca de folha, em gramas.	73
17	Resultados médios da produção de grãos, em gramas.	78
18	Resultados médios do peso de 1000 sementes; em gramas.	79
19	Relação dos valores do coeficiente da cultura encontrados no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal nos anos de 2001 e 2002 e no Horto Florestal de Limeira, ano de 2003 de acordo com os dias após o plantio.	83
20	Correlação entre a evapotranspiração real e a temperatura, a umidade relativa e o vento.	84
21	Correlação entre o coeficiente da cultura e a temperatura, a umidade relativa e o vento.	85
22	Quantidade de precipitação em milímetros, ocorrida durante o ano de 2003.	86
23	Resultados médios do teor de lipídios totais (extração direta) e proteína bruta.	87

LISTA DE SÍMBOLOS

Acidez Potencial	H + Al
Altura de água disponível no solo	H
Boro	B
Cálcio	Ca
Capacidade de campo	CC
Capacidade de troca catiônica	CTC
Centímetros	cm
Centímetros cúbicos	cm ³
Cobre	Cu
Coeficiente de cultura	k _c
Coeficiente de uniformidade de distribuição	CUD
Coeficiente de uniformidade de Christensen	CUC

Coeficiente de variação	CV
Coeficiente do tanque evaporimétrico	k_p
Consumo de água pela cultura	C
Densidade global do solo	d_g
Eficiência de aplicação	E_a
Evaporação medida no tanque evaporimétrico	E_o
Evapotranspiração de referência	ET_o
Evapotranspiração máxima	ET_m
Evapotranspiração real	ETR
Ferro	Fe
Fósforo	P
Gramas	g
Graus Celsius	$^{\circ}\text{C}$
Hectare	ha
Intensidade de aplicação da irrigação	I
Lâmina	H_i
Lâmina aplicada	H_a
Lâmina de água média dos valores coletados nos mini pluviômetros	\overline{H}
Lâmina hídrica líquida	H_i
Lâmina média dos 25% menores valores coletados	\bar{h}
Oeste	W
Magnésio	Mg
Manganês	Mn

Matéria Orgânica	MO
Metro	m
Milímetros	mm
Peso do balão mais água destilada	P_{pa}
Peso do balão mais água destilada e mais amostra do solo	P_{pas}
Peso do solo seco	M_s
Peso do solo seco em estufa	P_s
Peso específico real do solo	d_s
Potencial hidrogeniônico	pH
Ponto de murcha permanente	Pm
Porcentagem	%
Potássio	K
Quilo Pascal	kPa
Quilograma	kg
Reserva de água no solo	R
Saturação de Bases	v
Segundo	s
Soma de Bases	SB
Sul	S
Tempo de irrigação	T_i
Tonelada	t
Umidade crítica	UC
Umidade do solo	u

Umidade relativa

UR

Universidade Estadual de Campinas

Unicamp

Volume total de solo

V_t

Zinco

Zn

RESUMO

O ensaio foi conduzido nos anos de 2001 a 2003, em duas áreas experimentais: Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp e no Horto Municipal Florestal, ambos no município de Limeira - SP, Brasil, com o objetivo de estudar o efeito da irrigação, sobre alguns parâmetros do girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar M-742. As semeaduras e colheitas foram realizadas, respectivamente, nos dias 18 de junho e 14 de setembro de 2001, 16 de junho e 8 de outubro de 2002 e 24 de junho e 15 de outubro de 2003. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três tratamentos e quatro repetições. Os três tratamentos consistiram de: 1) irrigação de acordo com o balanço de umidade no solo (*Sempre Irrigado*); 2) irrigado nos períodos críticos do desenvolvimento, ou seja, formação de botão floral e enchimento de grãos (*Irrigado nas Fases*) e 3) sem suplementação hídrica (*Sem Irrigação*). A irrigação foi realizada por sistema de aspersão convencional, conduzida pelo método gravimétrico. Os principais parâmetros analisados foram: altura de planta, diâmetro do capítulo, peso do capítulo, peso da haste, peso das folhas, peso de mil sementes, teor de óleo e proteína de grãos, produção, distribuição do sistema radicular e demanda hídrica da cultura. Os dados foram submetidos à análise de variância e suas médias comparadas pelo teste de Tukey. Pelos resultados obtidos e para as condições do experimento, as seguintes conclusões se evidenciaram como as mais importantes: a) a planta desenvolvida sob marcante estresse hídrico tende a produzir raízes em maior número e se aprofundar mais no solo que aquela sem restrição hídrica; b) há maior concentração de raízes no horizonte superficial do solo, até 20 centímetros, independentemente da disponibilidade de água. c) a irrigação nas fases de formação do botão floral e de enchimento de grãos é suficiente para garantir níveis de

desenvolvimento da planta e do sistema radicular bem como produção de grãos semelhantes à da planta desenvolvida sem restrição hídrica; d) ocorre acentuada diminuição na massa seca de haste, capítulo e folha como consequência do estresse hídrico; e) plantas desenvolvidas sob marcante estresse hídrico produziram cerca de 30% menos em peso de grãos que as *Sempre Irrigadas* e 20% menos que as *Irrigadas nas Fases*; f) a redução da área foliar, através da redução na altura da planta, mostrou-se como um dos mecanismos de resposta do girassol à escassez de água; g) a planta sob restrição hídrica tende a produzir um maior teor de proteína em detrimento da produção de lipídeos; h) o k_c encontrado mostrou os menores valores aproximadamente aos 20 dias após a emergência, atingindo os valores mais elevados na fase de formação do botão floral (45-50 dias após a emergência).

ABSTRACT

The study was conducted from 2001 to 2003, in Limeira (Brazil), with the sunflower hybrid M-742. The aim of the present work was to study the effect of the supplementary irrigation on some sunflower (*Helianthus annuus* L.) parameters. The sowing and harvest were done, respectively in June 18, September 14 in 2001; June 16, October 8 in 2002 and June 24, October 15 in 2003. The experimental design was a randomized blocks with three treatments and four replications. The treatments were: a) irrigation according to soil moisture (*Always Irrigated*); b) irrigation in the critical periods (*Phases Irrigated*) and c) without supplementary irrigation (*Rainfed*). The irrigation was performed by sprinkler and scheduled by gravimetric method. The main analyzed parameters were: head, leaves and stem dry weight and height; 1.000 seed mass; head diameter; oil and protein content; root system distribution; water demand. The data were submitted to analysis of variance and the averages were compared by Tukey test. Based upon the results some conclusions are feasible: a) sunflower plants under sever water stress produces a higher root number that explore the soil deeply than plants with no water stress; b) the greater root concentration occurred in the superficial horizon, for all treatments. c) water supplementation during flower bud formation and grain filling stages is sufficient to assure good levels of grain yield and root system development; d) the water stress causes an emphasize decrease in stem, head and leave dry mass; e) plants grown under accentuate water stress yielded 30% less than plants with no stress and 20% less than plants that received water only in the critical periods of bud formation and grain filling; f) the leaf area decrease through the plants height appears to be a mechanism of sunflower's defense to water

stress; g) the sunflower under water stress increases protein and reduces oil seed content; h) the k_c coefficient was lower at 20 days after emergence and higher at flower bud stage.

1. INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta da família Compositae, originário da América do Norte, encontrado no estado selvagem desde as planícies do noroeste do Canadá até a América do Sul; foi disseminado por todo o continente americano pelos ameríndios, que selecionaram preferencialmente plantas com uma única haste. Posteriormente, o girassol foi levado pelos colonizadores para o continente europeu, por volta do século XVI, como planta ornamental. A planta foi introduzida na Rússia no século XVIII e, por volta de 1830, foi adaptada, como planta produtora de óleo, passando a ganhar destaque na economia mundial após a II Grande Guerra (CÂMARA, 1998; UNGARO, 2000).

Segundo UNGARO (2000), a cultura do girassol é uma das quatro maiores culturas oleaginosas produtoras de óleo vegetal comestível em utilização no mundo. É cultivada com sucesso nos cinco continentes, em mais de 20 milhões de hectares, sendo os maiores produtores mundiais a Rússia, a União Européia, a Argentina e os Estado Unidos.

O girassol cultivado é uma planta anual, de polinização cruzada, ciclo curto, com adaptação a diferentes climas e solos. Presume-se que o cultivo do girassol no Brasil se tenha iniciado na época da colonização, principalmente na região Sul, com a introdução do hábito do consumo de suas sementes torradas (PELEGRINI, 1985).

A versatilidade de uso do girassol vem impulsionando um aumento gradativo de área semeada no Brasil. Em 1997, a cultura ocupava uma área equivalente a 11 mil hectares, saltando, em 2002, para 45 mil hectares; e em 2004, para mais de 100 mil hectares. A demanda mundial por óleo de girassol vem crescendo, em média, 1,8% ao ano, enquanto a demanda interna cresce, em média, 13% ao ano. Para suprir essa demanda, o país importa o óleo, principalmente, da Argentina.

Além do consumo de óleo estar crescendo, o girassol é aproveitado como matéria-prima pelas indústrias alimentícias e de ração animal. Na Europa, a farinha desengordurada e o concentrado protéico de girassol são usados na alimentação infantil e de animais domésticos, até servindo de base para temperos, doces, massas, entre outros. Outro uso que vem sendo estudado e tem grande potencial de aplicação é o biodiesel de girassol. Devido à crescente necessidade de combustíveis alternativos renováveis, o biodiesel, que é um biocombustível produzido a partir de qualquer óleo vegetal, inclusive o de girassol, vem despontando como opção. O Brasil possui enorme extensão territorial e condições climáticas favoráveis, existindo possibilidade de aumento da produção de girassol também para este fim (LOPES, 2003).

O girassol é uma planta rústica que se adapta bem a vários tipos de solo. Preferencialmente, deve-se optar por solos corrigidos, profundos, férteis, planos e bem drenados, para que as raízes desenvolvam-se normalmente. O ciclo vegetativo varia entre 90 a 130 dias. O florescimento ocorre, em média, 60 dias após a semeadura. No beneficiamento de uma tonelada de grãos obtêm-se, em média, 300 quilos de torta com 48 a 50% de proteína, que pode ser utilizada na alimentação de aves, porcos e no confinamento e semiconfinamento do gado, especialmente na temporada seca, quando falta pastagem (EMBRAPA, 2005).

A cultura do girassol no Brasil tem apresentado elevado potencial de produtividade e bom retorno financeiro, possuindo uma ampla adaptação a diferentes condições climáticas, e flexibilidade quanto às épocas de semeaduras, além de ampliar a possibilidade de uso de terras ociosas e permitir utilizar os mesmos equipamentos destinados à cultura do milho, sorgo ou soja (semeadora e colhedora) com poucas adaptações; a cultura é ainda uma boa opção para sistemas de produção do tipo consorciação e rotação de culturas (CÂMARA, 1998).

Os principais problemas para o cultivo são: insegurança quanto ao preço pago, uma vez que poucas são as opções de indústria no setor; pouca disponibilidade de genótipos resistentes às principais doenças; baixa tolerância a pequenos níveis de boro e acidez dos solos tropicais, uma vez que a cultura é exigente em pH e boro; impedimentos de natureza química e física do solo e elevada propensão ao ataque de pássaros na maturação final (UNGARO, 1986a; CÂMARA, 1998). Nas áreas irrigadas, principalmente com pivô central, uma grande preocupação para os agricultores tem sido a escolha de culturas de rotação, com o intuito de obter duas ou mais safras no mesmo ano agrícola; nesse contexto, a idéia de estudar os parâmetros de irrigação do girassol, que é uma cultura que pode ser utilizada nesse programa de produção, é de grande importância econômica, proporcionando um melhor aproveitamento das áreas irrigadas na entressafra.

A cultura do girassol apresenta boa adaptação a períodos de estiagem. Grande número de informações existe a respeito do comportamento da planta sob estresse hídrico, mas principalmente em condições de clima temperado ou em ambientes semi-áridos; porém, estudos em condições tropicais são escassos.

O conhecimento das possíveis alterações no comportamento de um cultivar de girassol, semeado em uma mesma época sob diferentes condições hídricas, é essencial para a escolha do manejo mais adequado para a cultura (GOMES et al., 2003a). A irrigação sistemática somente proporciona bons resultados se for bem projetada e adequadamente manejada. A demanda hídrica e o coeficiente de cultura (k_c), que correlacionam a evaporação medida em tanque evaporimétrico e o consumo de água na cultura, são informações fundamentais para o planejamento da irrigação.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve por principal objetivo o estudo do comportamento do girassol sob diferentes condições de suplementação hídrica em condições de clima subtropical.

Os objetivos específicos focaram:

1. Alterações morfofisiológicas do girassol sob estresse hídrico;
2. Desenvolvimento do sistema radicular do girassol em dois tipos de solo, sob estresse hídrico;
3. Comparação entre metodologias de avaliação do sistema radicular de girassol;
4. Teores de óleo e proteína no girassol sob estresse hídrico;
5. A demanda hídrica e o coeficiente da cultura (k_c) do girassol, quando sob condições de clima subtropical.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CULTURA DE GIRASSOL

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta anual, de polinização cruzada, ciclo curto, com adaptação a diferentes climas e solos, além de boa resistência ao frio e períodos de seca (CHONÉ, 1983).

Os elementos climáticos que afetam o ciclo da cultura do girassol são: temperatura do ar, radiação solar, precipitação e fotoperíodo (GOYNE et al., 1978; GOYNE & HAMMER, 1982; RAWSON et al., 1984; UNGER, 1990; MASSIGNAM & ANGELOCCI, 1993; SENTELHAS et al., 1994). A temperatura e o estresse hídrico são considerados como os fatores de maior influência no desenvolvimento e rendimento da cultura (GOYNE et al., 1978; ROBINSON, 1978; RAWSON & HIDMARSH, 1982). A temperatura e a radiação tornam-se os elementos de restrição à produtividade, na ausência de estresse hídrico (MONTEIRO, 1990; CHAPMAN et al., 1993). Além disso, sabe-se que o excesso de chuvas e dias nublados durante o florescimento pode acarretar considerável quebra de produção (UNGARO, 1986 a).

O girassol é bastante sensível à acidez do solo, requerendo pH superior a 5,5. O problema é particularmente grave em camadas de subsuperfície, de difícil calagem. Em solos ácidos, ocorre

germinação deficiente, encurvamento da raiz pivotante, pequeno desenvolvimento das raízes secundárias, com conseqüente diminuição no desenvolvimento da planta e na produção de grãos (UNGARO et al., 1985).

O requerimento de água pelo girassol varia de 600 a 1.000 milímetros em seu ciclo vegetativo sob condições de primavera-verão em climas temperados. A evapotranspiração aumenta no período de florescimento, e pode atingir entre 12 e 15 mm/dia. DOORENBOS & KASSAM (1979), encontraram que altas taxas de evapotranspiração são mantidas durante o estabelecimento das sementes e o começo do período de amadurecimento.

A importância do consumo de água varia com o estágio da cultura até o florescimento, quando a superfície foliar é máxima. O girassol é inapto para regular seu consumo de água, extraindo quantidades consideráveis do solo. Quando bem implantado, pode absorver água de uma profundidade de 2 metros ou mais. A resistência à difusão da água pelos estômatos é baixa; os estômatos são grandes, numerosos e densos, principalmente na face inferior do limbo. O girassol apresenta uma tendência a esbanjar água quando ela é oferecida em abundância (MERRIEN, 1992).

Em períodos de estresse hídrico, os diferentes órgãos apresentam uma diminuição de turgescência. As raízes perdem a maior quantidade de água (74%), seguidos pelas folhas (18%) e pela haste (8%). A superfície foliar se ajusta perfeitamente à disponibilidade de água. Se o estresse hídrico é precoce, o desenvolvimento foliar é moderado; observa-se uma redução do vigor da planta e do número total de folhas. Se tardio, ocorre uma redução da superfície foliar, como decorrência da aceleração na senescência das folhas (MERRIEN, 1992).

Alguns experimentos, conduzidos fora do Brasil, têm mostrado o efeito da irrigação suplementar nos diferentes estádios de desenvolvimento da planta sobre caracteres ligados à produção de grãos e de óleo. FLAGELLA et al. (2000) mostraram a importância da suplementação hídrica para a germinação e no florescimento, com conseqüente aumento no diâmetro de capítulo, número e peso de sementes, diminuição da superfície estéril do capítulo e no teor de ácido linoléico. SINGH & SINGH (2000) encontraram que, além do estágio de florescimento, o estresse hídrico durante o enchimento de grãos também afeta a produção, dados estes concordantes com os obtidos por ASRI et al. (2000).

No Brasil, FURTADO (1982) estudou o efeito da irrigação em diferentes períodos do desenvolvimento da cultura de girassol, sobre o comportamento biológico e produtividade de óleo e proteína dos grãos e encontrou que: a cultura responde às condições de umidade, apresentando crescimento correspondente à quantidade de água fornecida; a falta de água no período inicial, até o aparecimento do botão floral, ocasionou plantas com menor porte (altura, matéria seca acumulada e área foliar) e provocou baixo acúmulo de proteína, ocorrendo o inverso com a quantidade de óleo; a aplicação de água após o aparecimento do botão floral, induziu incrementos significativos no peso de sementes; a produtividade, em termos de grama de óleo por planta, apresentou tendência a se elevar em função da disponibilidade de água durante a fase vegetativa. SILVA (1982) observou que a produtividade biológica se mostrou proporcional à quantidade de água recebida e à época de aplicação; a deficiência hídrica durante a fase vegetativa condicionou um menor desenvolvimento das plantas, proporcionando baixos valores de matéria seca acumulada na parte aérea, altura das plantas e produtividade de grãos; a irrigação, a partir do aparecimento dos botões florais, contribuiu para que a matéria seca produzida fosse translocada com maior eficiência para os grãos, o que resultou em maior peso de 1000 grãos e maior razão de produtividade (grama de matéria seca total por grama de grãos).

3.2. DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA

Segundo DOORENBOS & PRUIT (1975), os fatores mais importantes que determinam o requerimento de água pela cultura são: o clima, a cultura (características de crescimento), umidade do solo, práticas agrícolas e de irrigação, e outros fatores que influenciam a taxa de crescimento como fertilizantes, doenças e infestações de pragas e plantas invasoras. Assim, diversos métodos foram desenvolvidos para estimar as necessidades hídricas das culturas, em função dos fatores físicos e biológicos intervenientes no fenômeno da evapotranspiração. Segundo os autores, citam, existem em torno de trinta e dois métodos para medição do coeficiente da cultura, o qual indica o nível de consumo de água pela cultura em questão.

Para se avaliar o consumo de água de lavouras comerciais utiliza-se o cálculo de evapotranspiração máxima (ET_m). De acordo com DOORENBOS & PRUIT (1975), a taxa de evapotranspiração máxima ocorre na cultura isenta de doenças, crescendo em um campo extenso (um ou mais hectares) em condições ótimas de solo, com fertilidade e água suficiente, a qual alcança plena produção potencial com respeito ao meio vegetativo dado.

Segundo FAO (2004), para a cultura de girassol, a porcentagem total média de água, usada nos diferentes períodos de crescimento, situa-se por volta de 20% durante o período vegetativo, 55% durante o florescimento, restando 25% para o período de enchimento de grãos. O coeficiente da cultura (k_c) é de 0,3 a 0,4 durante o estágio inicial (20 a 25 dias), 0,7 a 0,8 durante o estágio vegetativo (35 a 40 dias), 1,05 a 1,2 durante o florescimento (40 a 50 dias), 0,7 a 0,8 durante o enchimento de grãos (25 a 30 dias) e 0,4 na maturação fisiológica. O requerimento de água pelo girassol é relativamente alto comparado com outras culturas. Apesar da alta taxa de uso da água, a cultura tem uma habilidade para resistir a pequenos períodos de déficit de água numa tensão em torno de 15 atmosferas. Longos períodos de déficit de água durante o crescimento podem resultar em secagem de folhas, com conseqüente redução no rendimento da cultura; o déficit não deve exceder 45% da água disponível do solo.

O coeficiente de cultura para o estágio de desenvolvimento inicial (k_c inicial) é afetado pela textura do solo. Sob mesmas condições climáticas e de molhamento, o solo de textura fina apresenta k_c inicial maior que o solo de textura grossa. Existe, também, uma dependência do valor do k_c inicial com o valor da taxa média diária de ET_o , isto é, depende das condições climáticas de determinado local (SOARES et al., 2001).

Pequenas diferenças encontradas nos valores da evapotranspiração de referência nos experimentos são provenientes das diferentes condições climáticas em que as lavouras são conduzidas, confirmando-se a importância da condução de experimentos de avaliação da evapotranspiração de referência em regiões com distintas condições climáticas (FERNANDES et al., 2004).

DIAS (1995), estudando o consumo de água pelo girassol na região de Lavras, Estado de Minas Gerais, cultivado em evapotranspirômetro de lençol freático constante, concluiu que, em

situação de grande oferta de água, a cultura do girassol terá um alto consumo hídrico, porém variando com o estágio fenológico; o consumo total de água durante o ciclo do girassol foi de 508,8 mm, apresentando uma média diária de 5,35 mm. Os resultados encontrados no experimento foram: a) período compreendido entre a semeadura até dez dias após a emergência: 5,29 mm/dia; b) período entre dez dias após a emergência até quarenta dias após a emergência: 4,99 mm/dia; c) período entre quarenta dias após a emergência até o início de florescimento: 4,73 mm/dia; d) início do florescimento até o final do florescimento: 5,73 mm/dia; e) final do florescimento até a maturação fisiológica: 6,79 mm/dia.

BONA et al. (2000) relatam que o girassol é tolerante ao estresse hídrico comparado a outras culturas devido a características morfológicas e fisiológicas, ao sistema radicular profundo e também a algumas modificações metabólicas induzidas pela redução da disponibilidade da água no solo. A taxa de transpiração pode ser utilizada como um indicador do metabolismo, que está intimamente ligada ao processo fisiológico da planta. Eles verificaram, sob condições de clima temperado, que um dos efeitos morfológicos causados pelo estresse hídrico é a redução da área foliar e conseqüente redução do potencial fotossintético. A redução do crescimento foliar foi observada antes da redução da transpiração; isto demonstra que o girassol é hábil para tolerar o estresse hídrico pela limitação do crescimento foliar sem decréscimo da transpiração, mantendo a funcionalidade fisiológica. Além disso, a planta submetida a estresse progressivo tende a se adaptar e ser mais eficiente que aquela com estresse tardio.

O dimensionamento hidráulico de um projeto necessita de elementos como a quantidade de água a ser aplicada (lâmina bruta e líquida) e o intervalo entre as irrigações (turno de rega). Além disso, informações sobre a evapotranspiração de referência (ET_o) são fundamentais tanto para o planejamento quanto para o manejo da irrigação. No correto manejo da irrigação faz-se necessário um sistema de controle para aplicar a água nos momentos adequados.

Três são os métodos comumente usados para a avaliação da evapotranspiração. Dentre eles, o tanque evaporimétrico Classe A é um dos sistemas mais utilizados e eficientes para controle das irrigações, segundo VIEIRA (1989). A utilização do Tanque Classe A baseia-se na relação existente entre a evaporação medida num tanque evaporimétrico (E_o) e a evapotranspiração real da cultura (ETR), pois ambos os fenômenos dependem de parâmetros climatológicos como: radiação solar,

vento, temperatura e umidade do ar. Para se obter a evapotranspiração de referência são utilizados métodos de medida e de estimativa; um dos mais utilizados é o método do tanque Classe A, que permite estimar ET_0 a partir de correlações entre evaporação observada no tanque e o coeficiente do tanque, o qual é preconizado pela FAO e de utilização mundial (TURCO et al, 2000).

VILLA NOVA & OMETTO (1976), relatam que numerosas correlações, obtidas em várias partes do mundo, revelam que o valor de k_p varia em função da umidade relativa do ar, velocidade do vento e do modo pelo qual o tanque está exposto.

3.3. ESTUDO DO SISTEMA RADICULAR

As raízes são órgãos especializados em fixação, absorção, reserva e condução. No entanto, contém apêndices epidérmicos, como os pêlos radiculares, que comumente são denominados tricomas radiculares, cuja função primordial está relacionada à absorção de água e nutrientes; são prolongamentos das células epidérmicas das raízes, com tamanho variando de 80 a 1.500 μm , e desempenham importante papel no aumento da superfície de absorção das raízes (ALQUINI et al., 2003).

Segundo APPEZZATO-DA-GLÓRIA & HAYASHI (2003), a raiz é uma estrutura axial relativamente simples quando comparada ao caule. O desenvolvimento do meristema apical da raiz do embrião resulta na formação da raiz primária. Através da morfologia externa, as partes constituintes que podem ser observadas nas raízes são: a coifa, zona lisa ou de crescimento, zona pilífera e zona de ramificação. Anatomicamente, são reconhecidas as regiões de divisão celular (correspondente à combinação do meristema apical mais a porção da raiz onde as divisões celulares ocorrem), de alongamento (o alongamento das células nesta região resulta num aumento do comprimento da raiz) e de maturação (local em que os tecidos primários completam seu desenvolvimento).

O estudo do sistema radicular das plantas cultivadas apresenta grande interesse prático, em virtude da importância que seu conhecimento tem em relação a determinadas práticas agrícolas, tais como a adubação e trato cultural com máquinas, e para o conhecimento do espaçamento a ser adotado na plantação (MEDINA et al., 1963). De acordo com MARLOTH (1950), o conhecimento da distribuição do sistema radicular da planta é importante em irrigação, pois dessa distribuição dependerá a camada de solo que deverá ser irrigada. Entre os fatores que mais influem no desenvolvimento do sistema radicular, destacam-se a riqueza em elementos minerais, a umidade e a aeração do solo (INFORZATO, 1957). A ampla variação da distribuição de raízes no perfil do solo pode afetar a capacidade para utilizar eficazmente a água e os nutrientes do solo. A densidade das raízes ou volume ocupado pelas raízes, usualmente influi diretamente no crescimento das plantas (GOMES, 1996). Segundo BERNARDO (1982) e ARRUDA (1989) a profundidade efetiva do sistema radicular é aquela onde se encontram pelo menos 80% (em peso) do total de raízes das culturas.

NETO & LOPES (1987) relataram que é de fundamental importância a determinação da profundidade efetiva do sistema radicular em diferentes períodos de crescimento de uma cultura, para avaliação de projetos de irrigação. A maximização da eficiência de aplicação e de armazenamento da água será tanto mais pronunciada quanto mais precisos e consistentes forem os parâmetros utilizados no seu dimensionamento.

CONNOR & HALL (1997) relatam que as raízes do girassol são excepcionais, pois exploram o solo até grandes profundidades, podendo alcançar 2 metros ou mais de profundidade, mais do que outras culturas anuais como trigo e sorgo, porém, com menor densidade de raízes. Sob condições irrigadas as raízes se concentram nos primeiros 20 centímetros de profundidade enquanto na cultura sob condições não irrigadas elas se distribuem pelo perfil do solo. A pequena densidade de raízes é compensada por uma distribuição efetiva das mesmas no perfil do solo e/ou um grande comprimento das mesmas. DOORENBOS & KASSAM (1979) relatam que, em solos profundos, apesar do sistema radicular da cultura de girassol poder estender-se por 2 a 3 metros, normalmente, 100% da água é extraída dos primeiros 0,8 a 1,5 metros; sob condições de máxima evapotranspiração, em torno de 10 mm/dia, o suplemento de água é afetado quando 45% do total de água no solo é exaurido.

Graças à técnica da endoscopia, a arquitetura do sistema radicular do girassol é atualmente mais conhecida. Há uma forte concentração de radículas, cerca de 80 a 90%, situadas nos primeiros 0,10 m de profundidade; entre esta zona de radículas e a coifa da raiz principal pivotante existe uma interrupção de radículas. O sistema radicular do girassol é agressivo e pode colonizar bem o solo, porém é muito sensível à compactação do solo. As raízes têm um crescimento maior no início do ciclo, sendo mais importante do que o sistema aéreo; sua biomassa nesta fase representa cerca de 20 a 25% da biomassa total, reduzindo progressivamente sua influência com o crescimento da cultura até 15% (MERRIEN & MILAN, 1992).

O girassol é das culturas mais tolerantes às condições de estresse hídrico, graças ao seu sistema radicular, que permite extrair água do solo mais eficientemente que outras culturas. Mas é também uma planta que responde bem à irrigação a partir do florescimento, desde que seu desenvolvimento vegetativo seja moderado nas fases iniciais. Para as condições francesas, a necessidade da água para a cultura, do início do florescimento até o final do enchimento de grãos, está ao redor de 150 mm. Sob condições de um desenvolvimento vegetativo moderado, em solos superficiais, recomenda-se 2 a 3 irrigações num total de 90 a 100 mm com início na fase de botão floral. Em solos medianamente profundos, são necessárias somente 2 irrigações, num total de 70 a 80 mm no início e no fim do florescimento. Em solos bastante profundos não há necessidade de irrigação (CETIOM, 2000).

Existem alguns métodos que são utilizados para o estudo do desenvolvimento do sistema radicular. A metodologia de presença e ausência consiste em cavar uma trincheira ao lado da planta e remover uma fina camada da parede do perfil, de modo a expor as raízes que, através de uma tela quadriculada, são registradas em desenhos, neste caso como presença ou ausência de raízes em cada quadrícula.

Na metodologia do trado, as amostras de solo são retiradas com o trado a diferentes distâncias e profundidades da planta em estudo; estas amostras são lavadas, e as raízes separadas para determinação do comprimento ou peso, sendo que a principal vantagem deste método é a possibilidade de realizar mais repetições das amostragens (BOHM, 1979). Os pontos de amostragem podem ser colocados nas linhas e entrelinhas do plantio.

O estudo da ecologia das raízes tem por objetivo a investigação da influência de fatores ambientais no desenvolvimento do sistema radicular da planta. Uma análise do método do trado indica que este é o mais adequado para amostras de volume das raízes no solo, e o peso seco da raiz é o parâmetro mais comum para o estudo de seu crescimento em resposta ao meio ambiente. O método do trado é o mais simples, barato, e pode ser usado para resolver problemas teóricos e práticos de desenvolvimento de raízes, sendo empregado freqüentemente; além disso, permite comparações, com relativa rapidez, da posição das raízes, sem as distorções causadas pelo método da escavação total (BOHM, 1979, KOLESNIKOV, 1971; ATKINSON, 1980; RODRIGUEZ & FERNÁNDEZ, 1986).

A possibilidade de proporcionar lâminas de aplicação de água, variáveis de acordo com a profundidade efetiva do sistema radicular, permite aos sistemas por aspersão e localizada maior eficiência de aplicação de água às culturas, com reduzida profundidade do sistema radicular, em comparação com os sistemas por superfície (SCALOPPI, 1986).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCALIZAÇÃO

O estudo foi realizado em duas áreas experimentais: no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp, nos anos de 2001 e 2002 e no Horto Municipal Florestal, durante o ano de 2003, no município de Limeira, SP. Ambas as áreas pertencem ao município de Limeira, Estado de São Paulo, situado a 567 metros de altitude, na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba e apresentando as seguintes coordenadas geográficas: 22°33'54'' S de latitude e 47°24'09'' W de longitude.

4.2. CLIMA

Os regimes hídricos e térmicos do solo dessa região são respectivamente, o údico e o hipertérmico. O clima do local é do subtipo Cwa, segundo a classificação de Koppen, isto é, subtropical úmido e seco no inverno, com temperatura média do mês mais quente ao redor de 22,6° C e no mês mais frio 16,7° C e precipitação média anual de 1.384 milímetros.

4.3. PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

Em cada uma das áreas do experimento foram retiradas amostras de solo para análise da fertilidade, que foram avaliadas no Instituto Agronômico de Campinas e revelaram os seguintes teores de nutrientes, conforme Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Resultado da análise de solo no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp.

Profundidade	MO	pH	K	Ca	Mg	SB	H + Al	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	P
cm	g/dm ³		mmol/dm ³						%	mg/dm ³					
0 - 25	28	5.2	2.8	41	11	54.8	38	92.9	59	0.22	18.5	38	120.7	2.2	6
25 - 50	17	5.4	1.7	26	7	34.7	28	62.5	56	0.20	9.8	20	46.7	0.5	2
50 - 75	11	5.8	0.8	27	6	33.8	20	54	63	0.07	4.4	10	16	0.1	1
75 - 100	8	6.1	0.6	24	5	29.6	18	47.8	62	0.06	3.4	8	11	0.2	1

Tabela 2 – Resultado da análise de solo no Horto Florestal de Limeira.

Profundidade	MO	pH	K	Ca	Mg	SB	H + Al	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	P
cm	g/dm ³		mmol/dm ³						%	mg/dm ³					
0 - 25	26	5.8	3.6	46	10	59.6	16	76	78	0.28	1.9	91	12.8	4.5	217
25 - 50	16	5.9	1.1	36	10	47.1	15	61.9	76	0.18	1.1	76	8.5	1.9	117
50 - 75	8	5.9	1.1	23	8	32.1	15	46.9	69	0.15	0.6	44	5.4	0.6	48
75 - 100	8	5.8	1.1	20	8	29.1	13	42.4	69	0.15	0.6	32	3.8	0.4	22

4.4. PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

O estudo das propriedades físicas do solo permite a avaliação das condições de armazenamento e movimentação da água e do ar no solo. O trabalho contemplou as análises de densidade global, peso específico real, curva granulométrica e curva de retenção de água, que são parâmetros físicos relacionados à irrigação, realizadas antes da instalação do ensaio.

4.4.1. DENSIDADE GLOBAL

É a relação entre o peso do solo seco e o volume ocupado por este solo, mantida a estrutura do solo nas condições de campo. O valor deste parâmetro varia conforme a compactação do solo e é utilizado nos cálculos de irrigação.

A compactação do solo está indiretamente ligada à estrutura do solo. Como o solo é um material poroso, por compressão a mesma massa de material sólido pode ocupar um volume menor; isto afeta sua estrutura, o arranjo de poros, o volume de poros e as características de retenção de água. Uma das maneiras de se avaliar a compactação do solo é através do estudo da densidade global.

A densidade global foi determinada com amostras de solo, retiradas em quatro pontos, antes da instalação do ensaio. O método utilizado para determinação da densidade global foi dos cilindros volumétricos (REICHARDT, 1990), onde se utilizou o aparelho de Uhland, que consiste basicamente de um trado com cilindro de aço inoxidável com volume conhecido.

O calculo da densidade global (d_g) foi feito com o uso da fórmula:

$$dg = \frac{Ms}{V_t}$$

sendo que:

d_g = densidade global do solo, g/cm³;

M_s = peso do solo seco, em g;

V_t = volume total do solo, em cm³.

Com o auxílio do trado, introduziu-se no solo, na profundidade de 0 – 20; 20 – 40; 40 – 80; 80 – 100 cm, um cilindro de aço inoxidável de diâmetro e altura conhecidos. Retirou-se o cilindro com o solo do amostrador e, utilizando-se de uma espátula, nivelou-se o solo com a superfície do cilindro, de tal maneira que o volume do solo ficou igual ao volume do cilindro. Os recipientes com amostra de solo foram colocados na estufa a 105 – 110°C por um período de 24 horas, em seguida o conjunto de recipientes foi pesado.

Calculou-se a densidade global com a seguinte fórmula:

$$dg = \frac{Ps - t}{v}$$

$$v = \frac{2\pi \times D^2}{4} \times h$$

sendo que:

d_g = densidade global, em g.cm^{-3} ;

P_s = peso do solo seco, em g;

t = peso do recipiente, em g;

v = volume do cilindro, em ml;

D = diâmetro do cilindro, em cm;

h = altura do cilindro, em cm.

4.4.2. PESO ESPECÍFICO REAL

O peso específico real ou a densidade das partículas é a relação entre a massa e o volume das partículas do solo seco. Trata-se de um parâmetro praticamente constante, que varia de 2,6 a 2,7 g.cm^{-3} , sendo seu interesse para irrigação restrito à determinação da porosidade do solo e da umidade pelo método das pesagens. Retiraram-se amostras do solo nas áreas experimentais em quatro pontos, que foram posteriormente levadas para o laboratório.

O peso específico real foi calculado pela relação entre a massa e o volume das partículas do solo seco, segundo a fórmula:

$$ds = \left(\frac{Ms}{Vs} \right) \times fc$$

sendo que:

ds = peso específico real, em g.cm^{-3} ;

Ms = massa das partículas do solo, em gramas;

Vs = volume das partículas do solo, em cm^3 ;

fc = fator de correção, função da temperatura ambiente (tabelado).

De acordo com o método do picnômetro, a amostra do solo previamente seca em estufa (110°C), foi homogeneizada através do peneiramento (peneira número 10). Colocou-se o solo (50 g) em um balão volumétrico de 500 ml e cobriu-se com água destilada. Retirou-se o ar do balão volumétrico, utilizando-se de uma bomba de vácuo. Acrescentou-se mais água destilada até completar $2/3$ do volume do balão, e repetiu-se a operação de retirada de ar do balão volumétrico.

Após a exaustão das bolhas de ar, deixou-se a solução em repouso por alguns minutos e completou-se o volume do balão volumétrico com água destilada até a marca de referência. Determinou-se o peso do picnômetro (balão volumétrico) mais a água destilada e mais o solo (água até o traço de referência) obtendo-se, assim, o peso do balão mais água destilada e mais amostra de solo, em gramas (P_{pas}).

Calculou-se o peso específico do solo com o uso da fórmula:

$$ds = \frac{Ps}{P_{pa} + Ps - P_{pas}} \times fc$$

sendo que:

d_s = peso específico real do solo, em g.cm^{-3} ;

P_s = peso do solo seco em estufa (colocado no picnômetro), em gramas;

P_{pa} = peso do balão mais água destilada, em gramas;

P_{pas} = peso do balão mais água destilada e mais amostra do solo, em gramas.

4.4.3. GRANULOMETRIA

O estudo da estrutura do solo fornece a quantidade e o tamanho maior ou menor de poros responsáveis pela quantidade de água presente no solo e, conseqüentemente, disponível à planta.

Nas duas áreas experimentais foram retiradas amostras do solo, sendo posteriormente levadas para o laboratório, onde se determinaram as porcentagens de areia, silte e argila.

A análise granulométrica foi composta de duas fases: peneiramento e sedimentação.

A primeira fase consistiu no peneiramento do solo através de uma série de peneiras empilhadas em ordem decrescente de abertura das malhas. Estas aberturas representam o diâmetro das partículas do solo, por definição. O peneiramento foi efetuado para a fração do solo de granulometria mais grossa, isto é, retida na peneira número 200 (abertura 0,074 mm).

A sedimentação teve como base na equação de Stokes, a qual descreve a velocidade de queda livre de esferas em um meio fluído (ar água, etc.). Nesta fase, o diâmetro das partículas é definido como sendo o diâmetro de esferas, de mesma densidade e mesma velocidade de sedimentação que aquelas partículas.

O ensaio de sedimentação foi efetuado sobre a fração de finos do solo, cujas partículas passam através da peneira número 200.

Pesou-se 500 gramas de solo seco em estufa e retirou-se a fração de solo retida na peneira número 200, utilizando-se de água para lavar a malha no sentido contrário ao peneiramento, transferindo-se logo após todo o material retido para um recipiente largo.

Deixou-se o solo sedimentar no fundo do recipiente. Após secagem, pesou-se e peneirou-se o solo através de um conjunto de peneiras dispostas em série. As peneiras foram empilhadas em ordem decrescente de abertura das malhas conforme normas do “Bureau of Standard”. A seqüência das peneiras em ordem decrescente foi: 04 (4,760 mm); 10 (2,000 mm); 20 (0,840 mm); 40 (0,420 mm); 60 (0,0250 mm); 100 (0,149 mm); 200 (0,074 mm) e prato.

O conjunto de peneiras foi colocado em um agitador por 5 a 10 minutos e o material retido em cada peneira foi pesado. Determinou-se a porcentagem retida em cada peneira dividindo-se o peso retido em cada uma pelo peso original total da amostra.

4.4.4. CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA

Utilizando-se de um aparelho denominado extrator de placas de Richards, determinou-se a curva característica da água no solo expressa graficamente. As amostragens de solos foram feitas nas duas áreas experimentais, nas camadas de 0 - 25; 25 - 50; 50 - 75 e 75 - 100 cm.

As amostras de solo, previamente saturadas, foram colocadas no extrator de placas de Richards e submetidas a pressões pré-determinadas que variassem de -10,13 a -1.519,87 kPa por 24 horas, sendo então determinada a sua umidade gravimetricamente.

A capacidade de campo, ponto de murcha e umidade crítica foram avaliadas. A capacidade de campo (CC) representa a quantidade máxima de água que um solo pode reter depois de cessada a drenagem natural devido à força de gravidade no perfil estudado. O ponto de murcha permanente (PM) corresponde ao teor de água presente no solo quando ocorre e se mantém a murcha das plantas normais, que nele vegetam, mesmo quando essas plantas, após murcharem, sejam colocadas em ambiente saturado de umidade. A umidade crítica (UC) simula o limite para a redução da umidade do solo não prejudique significativamente a produção da cultura.

A capacidade de campo em solos argilosos corresponde ao potencial matricial de -33,44 kPa e em solos limosos e arenosos corresponde à tensão de -10,13 kPa. O ponto de murcha corresponde à tensão de -1.519,87 kPa para qualquer tipo de solo. A umidade crítica varia em função da cultura (VIEIRA, 1989).

Calculou-se a porcentagem de umidade do solo com a utilização da fórmula:

$$u = \left(\frac{U}{100} \right) \times dg$$

sendo que:

u = umidade do solo, em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$;

U = umidade do solo, em %;

dg = densidade global do solo, em $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

4.5. CULTURA DO GIRASSOL

Utilizou-se de sementes híbridas tratadas de girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar M742.

As semeaduras e colheitas foram realizadas respectivamente nos dias 18 de junho e 14 de setembro de 2001 e 16 de junho e 08 de outubro de 2002 na área experimental do Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp, e 24 de junho e 15 de outubro de 2003, no Horto Florestal Municipal de Limeira.

No plantio, utilizou-se plantadora Marca Jumil J2-S, colocando-se de 5 a 8 sementes por metro na linha de plantio, no espaçamento entre linhas de 90 centímetros, sendo feito desbaste manual, deixando-se cinco plantas por metro. A colheita foi realizada manualmente.

No primeiro plantio na área experimental do Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp - foi realizada calagem com calcário dolomítico, conforme análise de fertilidade do solo. No segundo plantio feito nessa mesma área experimental em 2002 e no terceiro plantio no Horto Florestal de Limeira – Prefeitura Municipal de Limeira - em 2003, não houve necessidade de calagem.

A adubação de plantio foi feita com 300 kg.ha⁻¹ da fórmula 4-20-20; vinte dias após a emergência, foi aplicado, em cobertura, 40 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e 2 kg.ha⁻¹ de ácido bórico, de acordo com QUAGGIO & UNGARO (1996).

4.6. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Foi utilizado o método de aspersão convencional com aspersores ASBRASIL, modelo ZE 30D, diâmetro dos bocais 4,5 x 5,5 mm, pressão de serviço 2,0 kg.cm⁻², raio de alcance de 13,5 metros, vazão de 2,59 m³.h⁻¹, espaçamento de 12 por 18 metros, rosca interna de uma polegada.

4.7. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A avaliação completa do sistema de irrigação proporciona uma verificação das condições operacionais da distribuição da água e da eficiência da distribuição dessa água no terreno. No sistema de irrigação por aspersão, a avaliação representa uma análise do sistema sob condições e práticas normais de funcionamento no campo.

A avaliação foi feita após a instalação do conjunto de irrigação com o objetivo de conferir as condições operacionais e verificar seu desempenho em campo, utilizando a metodologia de MERRIAM & KELLER (1978), para determinar a uniformidade de distribuição de água e a eficiência de aplicação.

A Uniformidade e Eficiência da Irrigação foram determinadas por meio de coeficientes relativos (CUD, CUC) à distribuição de água na área irrigada e à eficiência da aplicação dessa água no campo. O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) vem a ser a relação entre a média das 25% menores lâmina infiltrada, com a lâmina média infiltrada. Como se trata de um sistema pressurizado, esta lâmina é considerada igual à lâmina de água coletada por meio de mini pluviômetros (coletores) distribuídos na área.

$$CUD = \frac{\overline{H^*}}{\overline{H}} \times 100$$

sendo que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, em porcentagem;

\overline{H} = lâmina de água média dos valores coletados nos mini pluviômetros instalados, em mm;

$\overline{H^*}$ = lâmina média dos 25% menores valores coletados nos mini pluviômetros, em mm.

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) indica a magnitude dos problemas de distribuição de água na área irrigada. Baixos valores indicam que há perdas por excessiva percolação profunda ou existência de elevada lâmina bruta de irrigação. Valores de CUD menores que 67% normalmente são inaceitáveis.

O Coeficiente de Uniformidade de Christhiensen (CUC), que também é utilizado para constatar a distribuição de água irrigada, foi calculado segundo a expressão:

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |H_i - \overline{H}|}{n \times \overline{H}} \right) \times 100$$

sendo que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christhensen, em porcentagem;

\overline{H} = lâmina média obtida a partir das lâminas coletadas em cada mini pluviômetro, em mm;

H_i = lâmina coletada em cada mini pluviômetro, em mm;

i = número de ordem do mini pluviômetro;

n = número de mini pluviômetros instalados para o teste.

O valor mínimo de CUC recomendado está entre 80 e 85% (VIEIRA, 1989).

A eficiência de aplicação de água foi calculada por meio da fórmula:

$$E_a = \frac{\overline{H^*}}{H_a} \times 100 + E_v$$

sendo que:

E_a = eficiência de aplicação, em porcentagem;

$\overline{H^*}$ = média dos 25% menores valores de lâmina d'água coletados, em mm;

H_a = lâmina aplicada, em mm;

E_v = evaporação d'água durante o teste, em mm.

4.8. CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

O procedimento de manejo da irrigação foi obtido com os dados da curva característica de água no solo através da determinação da altura de água disponível no solo, em mm (H); da lâmina hídrica líquida, (H_i); e da lâmina hídrica bruta, (H_b), em milímetros.

O teor de água no solo, disponível às plantas, varia de acordo com que a umidade do solo passa da capacidade de campo para o ponto de murcha.

Para calcular a lâmina de água de irrigação, nas duas áreas experimentais, foi utilizada a metodologia descrita por VIEIRA (1989), de acordo com a fórmula:

$$H = \left(\frac{CC - PM}{10} \right) \times d_g \times h$$

sendo que:

H = altura de água disponível no solo, em mm;

CC = capacidade de campo, em %;

PM = ponto de murcha, em %;

d_g = densidade global do solo, em g.cm⁻³;

h = profundidade de irrigação, em cm.

Os valores da capacidade de campo e do ponto de murcha foram obtidos na curva característica da água do solo. A capacidade de campo para solos muito argilosos ou orgânicos corresponde à tensão de -100 kPa; para solos argilosos e barrentos corresponde à tensão de -33 kPa; o ponto de murcha oscila entre os potenciais matriciais de -1013,2 a -2026,5 kPa, sendo aceito o valor médio de -1519,9 kPa, conforme VIEIRA (1989).

$$U = \left(\frac{U\%}{100} \right) \times d_g$$

sendo que:

U = umidade, em $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$;

$U\%$ = umidade, em porcentagem;

d_g = densidade global do solo, em $\text{g}.\text{cm}^{-3}$.

Para a fixação da umidade crítica (UC), que corresponde ao potencial matricial crítico, adotou-se o valor de -81,06 kPa, conforme citado por VIEIRA (1989).

A reserva de água no solo é calculada da seguinte forma:

$$R = \left(\frac{UC - PM}{10} \right) \times d_g \times h$$

sendo que:

R = reserva de água no solo, em mm;

UC = umidade crítica, em %;

PM = ponto de murcha, em %;

d_g = densidade global do solo, em $\text{g}.\text{cm}^{-3}$;

h = profundidade de irrigação, em cm.

A reserva de umidade tem a finalidade de compensar um eventual atraso na aplicação de água. Contudo, o principal objetivo é impedir que o nível de umidade do solo baixe além do crítico,

propiciando potenciais matriciais superiores ao limite mínimo ou crítico, causando prejuízo ao desenvolvimento e à produção da cultura.

O valor do potencial crítico corresponde ao valor no qual a redução no rendimento da planta não seja inferior a 80% do máximo possível.

Cálculo da lâmina hídrica líquida (H_i); representa a água disponível do solo que realmente será utilizada pela planta, sendo o restante denominado reserva (R), determinado com o uso da seguinte equação:

$$H_i = H - R$$

sendo que:

H_i = lâmina hídrica líquida, em mm;

H = altura de água disponível no solo, em mm;

R = reserva de água no solo, em mm.

Cálculo da lâmina hídrica bruta:

$$H_b = \frac{100 \times H_i}{E_i}$$

sendo que:

H_b = lâmina hídrica bruta, em mm;

H_i = lâmina hídrica líquida, em mm;

E_i = eficiência de aplicação, em %.

No cálculo do tempo de aplicação de água, utilizaremos a seguinte expressão:

$$T_i = \frac{H_b}{I}$$

sendo que:

T_i = Tempo de irrigação, em horas;

H_b = Lâmina hídrica bruta, em mm;

I = Intensidade de irrigação; em mm.h⁻¹.

4.9. TURNO DE IRRIGAÇÃO

Turno de irrigação é o intervalo de tempo entre aplicações sucessivas de água numa posição estabelecida, de maneira a manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo. Foi calculado pela fórmula:

$$T_i = \frac{H_i}{C}$$

sendo que:

T_i = turno de irrigação, em dias;

H_i = lâmina hídrica líquida, em mm;

C = consumo de água pela cultura, em mm.dia⁻¹.

4.10. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso, com três tratamentos e quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância. A comparação das médias foi feita com o uso do teste de Tukey, a 5% de significância (PIMENTEL-GOMES & GARCIA, 2002).

Os tratamentos constaram de:

- **Tratamento 1:** Irrigado de acordo com o balanço de umidade no solo (*Sempre Irrigado*);
- **Tratamento 2:** Irrigado nos períodos críticos do desenvolvimento: formação de botão floral e enchimento de grãos (*Irrigado nas Fases*);
- **Tratamento 3:** Sem suplementação hídrica (*Sem Irrigação*).

4.11. UMIDADE DO SOLO

A umidade do solo varia com o tempo e a profundidade devido à drenagem, evaporação e ascensão capilar. O conhecimento da variação da umidade do solo é fundamental no manejo de irrigação. Ela foi obtida com o uso da seguinte fórmula:

$$U_a = \frac{P_u' - P_s'}{P_s} \times 100$$

$$P_u = P_u' - T$$

$$P_s = P_s' - T$$

sendo que:

U_a = umidade atual do solo, em porcentagem em relação ao peso seco;

P_u = peso da amostra de solo úmido, em gramas;

P_u' = peso do solo úmido mais o peso do recipiente, em gramas;

T = peso do recipiente, em gramas;

P_s' = peso do solo seco mais o peso do recipiente, em gramas;

P_s = peso da amostra de solo seco, em gramas.

Coletaram-se duas amostras por tratamento, nas diferentes profundidades, com o auxílio do trado. As amostras foram colocadas em um recipiente de alumínio previamente tarado. Após pesagem, o recipiente foi colocado em estufa a 105 a 110°C, por um período de 24 horas.

Posteriormente ao atingir a temperatura ambiente, foi novamente pesado e calculou-se a umidade do solo por diferença.

4.12. ESTUDO DO SISTEMA RADICULAR

A distribuição radicular é um dos melhores indicadores da planta, tanto para o manejo do solo como para o manejo da irrigação.

Existem diferentes metodologias de avaliação do sistema radicular, como a de presença e ausência, da filmagem do perfil e a do trado (GUIMARÃES et al., 1996).

JORGE, et al. (1996), relata que, de uma forma geral, a avaliação de raízes tem sido efetuada de duas maneiras, diretamente no perfil do solo ou através de raízes lavadas. No presente trabalho, ambas as maneiras foram utilizadas e comparadas, nas metodologias de presença e ausência e do trado, nos três anos de ensaio.

4.12.1. METODOLOGIA DE PRESENÇA E AUSÊNCIA DE RAÍZES

A metodologia de presença e ausência de raízes no perfil do solo consiste em cavar uma trincheira ao lado da planta e remover uma fina camada da parede do perfil, de modo a expor as raízes que, através de uma tela quadriculada, são registradas em desenhos, neste caso como presença ou ausência de raízes em cada quadrícula (BOHM, 1979).

O tamanho da malha da tela varia com o tipo de estudo efetuado. No presente trabalho, foi utilizada uma malha de 2 x 2 cm.

Em estudos realizados por GUIMARÃES (1996), os resultados mostraram que o método de presença e ausência apresenta mais raízes que o método de filmagem dos perfis. Por um outro lado, o método de presença e ausência superestima a avaliação, uma vez que não leva em conta o número de raízes e tampouco o seu diâmetro na quadrícula de 2 x 2 cm avaliada. Por isso, na presente pesquisa procurou-se minimizar o problema contando-se, em cada quadrícula, o número de raízes encontradas.

Foram utilizadas quatro parcelas (trincheiras) em cada tratamento estudado, sendo uma em cada bloco.

Na Figura 1 observa-se a abertura de uma trincheira que foi realizada por meio de escavação manual com uma pá. Um dos principais cuidados nas aberturas das trincheiras foi o nivelamento do perfil a ser estudado, o qual ficou o mais vertical possível, com o auxílio de uma pá ou vanga. Esta prática facilitou a fixação da tela reticulada.



Figura 1 - Abertura da trincheira.

Com o auxílio de uma espátula, removeu-se verticalmente uma pequena camada de solo, em torno de um centímetro, procurando expor as raízes no perfil. Na Figura 2 podemos observar a tela reticulada de 1,00 x 0,98 metro fixada no perfil do solo, onde podem ser observadas algumas raízes em destaque.



Figura 2 – Tela reticulada no perfil do solo.

4.12.2. METODOLOGIA DO TRADO

No método do trado, são retiradas amostras de solo a diferentes profundidades e distâncias da planta em estudo, conforme se observa na Figura 3 e 4. Estas amostras são lavadas e as raízes são separadas para determinação de comprimento ou peso. Os pontos de amostragem podem ser colocados nas linhas e entrelinhas do plantio. A sua principal limitação está na lavagem e limpeza final das raízes. Como principal vantagem, tem-se a possibilidade de realizar um grande número de amostragens sem destruição total da área amostrada (BONM, 1979; FUJIWARA et al.; 1994).



Figura 3 – Trado coletor de amostras de solo.



Figura 4 - Amostras a 10 e 20 centímetros da planta.

As amostras por unidade de volume do solo (cm^3) foram tomadas com um trado de 25 cm^3 de volume de solo em local representativo, sem ocorrência de ervas daninhas ou restos de cultura, utilizando-se de um amostrador de solo, onde cada amostra fica dentro de um cilindro de volume conhecido conforme se observa na Figura 5. Foram retiradas amostras a 10 e 20 centímetros da planta, às profundidades de 10, 20 e 30 centímetros.



Figura 5 - Amostra de solo no cilindro.

A separação das raízes foi feita manualmente, por meio da dissolução e fracionamento do solo, e posterior suspensão e separação das raízes. As amostras foram individualmente homogeneizadas com a mão e imersas em água; as primeiras raízes, assim que flutuaram, foram

retiradas e a seguir, a amostra foi passada pela peneira de malha fina (0,5 mm) para coleta de algumas raízes; esta operação foi repetida sucessivamente até a coleta de todas as raízes.

As raízes separadas, após a lavagem, foram colocadas em recipientes e levadas para secagem em estufa a 60° C, de acordo com FUJIWARA et al. (1994); posteriormente, as raízes secas e limpas das impurezas, foram pesadas.

4.13. PARÂMETROS FISIOLÓGICOS

Para cada tratamento foram separadas quatro parcelas homogêneas, com áreas constituídas de três linhas de plantio por quatro metros de comprimento, espaçadas de 90 cm. Foram coletados dados de massa da matéria seca de haste, folha, capítulo e grão; diâmetro de capítulo; altura de planta na maturação fisiológica; teor de óleo e proteína nos grãos.

4.14. EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA

Os lisímetros de nível constante permitem a determinação da evapotranspiração real ou consumo de água (ET_m). A evapotranspiração de referência (ET_o) foi determinada em um tanque evaporimétrico classe A.

As caixas utilizadas na construção dos lisímetros são encontradas no comércio, utilizadas para abastecimento doméstico de água. O volume de aproximadamente mil litros tem dimensões de 155 x 100 e 70 cm de altura.

As caixas de cimento amianto foram impermeabilizadas, impedindo perda de água por infiltração nas paredes. Em um dos lados, junto ao fundo, foi instalado um conector de 12,5 mm de diâmetro, para permitir a conexão de uma mangueira ligando a caixa ao tanque intermediário. Este tanque é abastecido pelo tanque alimentador, construído de chapa metálico com 0,30 m de diâmetro e 0,20 m de altura. Mediante uma bóia com válvula, o tanque intermediário é abastecido por uma mangueira. Na parte inferior há uma saída que é ligada à caixa de cimento amianto. A bóia mantém o nível de água constante no tanque intermediário, de sorte que, pelo princípio dos vasos comunicantes, o nível de água do lençol freático teórico, formado na caixa, também é mantido constante e na profundidade desejada. O tanque alimentador foi construído com chapa metálica possuindo dimensões de 0,27 m de diâmetro e 0,70 m de altura. Uma régua ajustada a um cilindro plástico permitiu a leitura da altura do nível da água no tanque. A ligação do tanque alimentador com o tanque intermediário foi feita por mangueira flexível.

O solo foi colocado dentro da caixa de cimento, sendo o sistema regulado para manter constante o nível de água em seu interior, de forma a suprir as plantas por ascensão capilar de água (irrigação subterrânea). Diariamente, pela manhã, era realizada a leitura da altura do nível da água no cilindro de vidro do tanque alimentador, sendo que a diferença entre a leitura de um dia com a leitura do dia anterior dava a quantidade de água evapotranspirada pela cultura (ET_m).

O coeficiente da cultura (k_c) foi determinado baseando-se na relação proposta por VILLA NOVA & OMETTO (1976).

$$ET_m = k_c \cdot ET_o$$

sendo que:

ET_m = evapotranspiração máxima, em mm;

k_c = coeficiente de cultura, adimensional;

ET_o = evapotranspiração de referência, em mm.

$$ET_o = k_p \cdot E_o$$

sendo que:

k_p = coeficiente do tanque, adimensional;

E_o = evaporação medida no tanque evaporimétrico Classe A, em mm.dia⁻¹.

Os evapotranspirômetros foram supridos de água com alturas reguláveis por bóia. O lençol de água foi mantido constante a uma profundidade que proporcionou o fornecimento constante de água à cultura. A Figura 6 mostra um esquema de instalação de um lisímetro de nível constante.

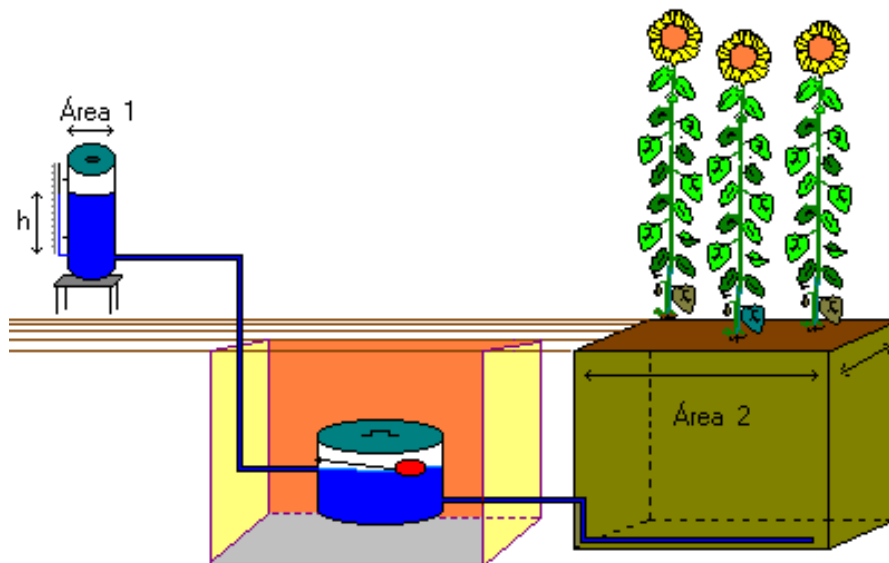


Figura 6 – Esquema de instalação de um lisímetro de nível constante.

O cálculo da evapotranspiração diária foi realizado conforme as fórmulas abaixo:

$$h_1 \times \acute{A}rea_1 = Volume$$

$$h_2 \times \acute{A}rea_2 = Volume$$

$$ET_m \times \acute{A}rea_2 = Volume$$

$$h \times \acute{A}rea_1 = \acute{A}rea_2 \times ET_m$$

$$ET_m = \frac{\acute{A}rea_2}{\acute{A}rea_1} \times h$$

sendo que:

h_1 = altura de água observada do tanque alimentador, em cm;

h_2 = altura de água do lisímetro, em cm;

$\acute{A}rea_1$ = área do tanque alimentador, em cm²;

$\acute{A}rea_2$ = área da caixa utilizada na construção do lisímetro; em cm²;

$Volume$ = volume de água consumido pela cultura, em cm³;

ET_m = evapotranspiração diária, em mm.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. GRANULOMETRIA

São apresentados, na Tabela 3, os resultados da granulometria conforme as porcentagens de areia, silte e argila; os solos foram agrupados em classes texturais, obtidas pelo triângulo para determinação de classes texturais USDA, recomendado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (CAMARGO et al., 1986).

Tabela 3 - Granulometria do solo no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal – Unicamp - e no Horto Florestal de Limeira.

Profundidade (cm)	Campo de Pesquisa	Horto Florestal
00 – 25	Argila	Franco arenoso
25 – 50	Argila	Franco arenoso
50 – 75	Argila	Franco argilo arenoso
75 – 100	Argila	Franco argilo arenoso

A textura se refere ao tamanho das partículas sólidas do solo, sendo uma propriedade estável que não se altera nos tratos agrícolas. Influencia diretamente a intensidade das transformações químicas e a movimentação da água e do ar no solo. A relação solo-planta-atmosfera depende basicamente da atividade superficial das partículas minerais e orgânicas.

O conteúdo de água e a sua taxa de movimento no solo dependem em grande parte do tipo e da estrutura do solo. O principal fator que afeta a retenção da água em um solo é a textura, pois determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água, apresenta as proporções dos poros de tamanhos diferentes. A parte líquida do solo se constitui da água contida no espaço vazio entre as partículas sólidas, retida por forças de capilaridade e de adsorção, sendo que esta água é absorvida pelas raízes das plantas ou é drenada para camadas de solo mais profundas e, por isso, precisa periodicamente repostada pela chuva ou pela irrigação, para garantir uma produção vegetal adequada conforme relatam REICHARDT, (1990) e TAIZ & ZEIGER (2004).

O solo do Horto Florestal de Limeira mostrou uma textura arenosa, que em geral apresenta uma menor capacidade de retenção de água como consequência do grande número de macroporos, em que predomina a retenção de água por capilaridade. Solos arenosos têm uma área de superfície por unidade de solo relativamente pequena e grandes espaços ou canais entre as partículas. Nesses solos, os espaços entre as partículas são tão grandes que a água tende a drenar dos mesmos e permanecer somente nas superfícies das partículas ou nos interstícios entre essas partículas.

No Campo de Pesquisa o solo apresentou textura argilosa, com maior quantidade de microporos e, conseqüentemente, maior capacidade de retenção de água no perfil do solo pelo efeito da adsorção. Solos argilosos têm áreas de superfície muito maiores e canais menores entre as partículas; os canais são pequenos o suficiente para que a água não drene livremente dos mesmos, ocasionando uma maior retenção de líquidos.

5.2. PESO ESPECÍFICO REAL

A densidade real não muda sensivelmente de solo para solo. Como se trata de um parâmetro praticamente constante, variando na faixa de 2,6 a 2,7 g.cm⁻³, seu interesse para a irrigação é restrito à determinação da porosidade do solo e da umidade pelo método das pesagens.

Os resultados da densidade real para as duas áreas experimentais, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Densidade Real do solo (g.cm⁻³) no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal e no Horto Florestal de Limeira.

Profundidade (cm)	Campo de Pesquisa	Horto Florestal
00 – 25	2,61	2,67
25 – 50	2,57	2,67
50 – 75	2,60	2,68
75 – 100	2,58	2,68

Os valores encontrados (Tabela 4) variaram pouco e estão dentro do intervalo normalmente observado conforme relatado por REICHARDT (1990) .

5.3. DENSIDADE GLOBAL

As densidades encontradas no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal e no Horto Florestal de Limeira encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Densidade Global do solo (g.cm^{-3}) no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal e no Horto Florestal de Limeira.

Profundidade (cm)	Campo de Pesquisa	Horto Florestal
00 – 25	1,34	1,76
25 – 50	1,29	1,76
50 – 75	1,16	1,78
75 – 100	1,22	1,78

As áreas do ensaio apresentaram ligeiras variações nos níveis e comportamentos quanto à densidade global. O solo do Horto Florestal, mais arenoso, mostrou densidade mais elevada, porém uniforme no perfil. Já no Campo de Pesquisa, a densidade foi menor que a encontrada no Horto mas os valores encontrados foram ligeiramente maiores na camada superficial (0 a 25 centímetros), talvez como resposta ao tráfego de equipamentos agrícolas na área.

5.4. CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA

Os dados de retenção de umidade, obtidos através das amostras de solo previamente saturadas, colocadas no extrator de placas de Richards e submetidas a pressões de -10,13 a -1.519,87 kPa, originaram a curva característica, que expressa a umidade do solo (%), em relação ao potencial matricial (bar), conforme a Figura 7.

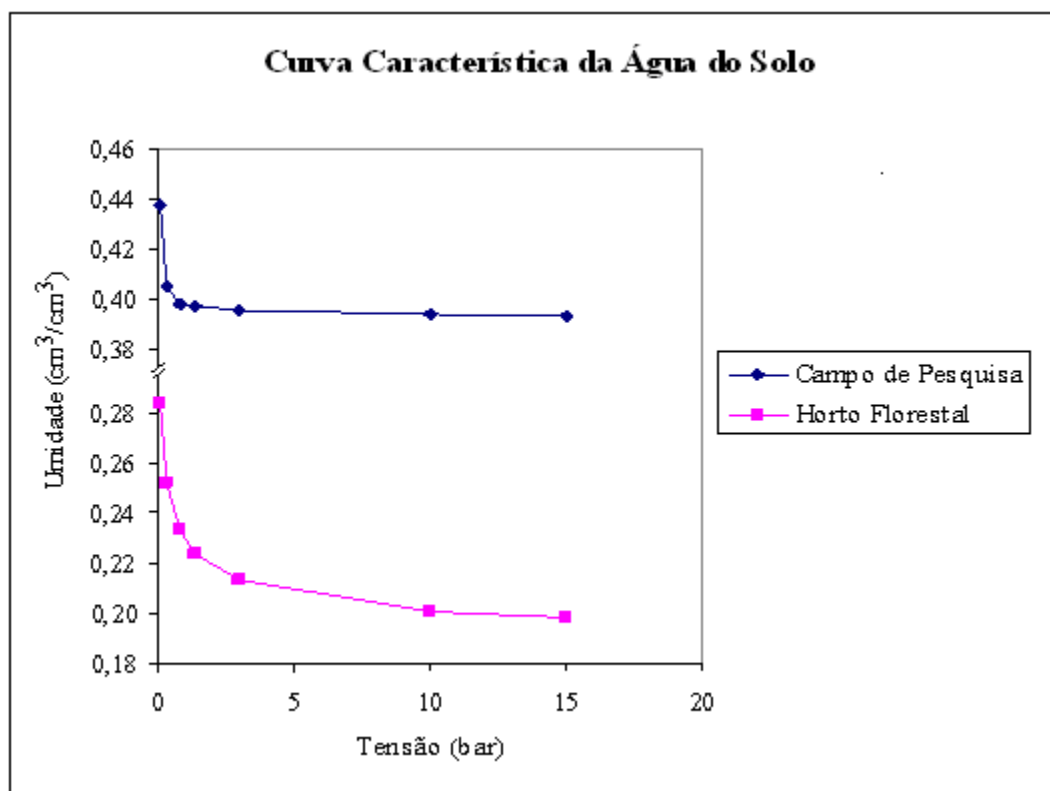


Figura 7 – Curva característica da água no solo no Campo de Pesquisa e no Horto Florestal de Limeira, analisando o perfil do solo de 0 a 100 cm.

O solo é um substrato complexo física, química e biologicamente. O tamanho das partículas do solo determina a dimensão na qual um solo fornece um reservatório de água, a qual se move predominantemente por fluxo de massa, governado por um gradiente de pressão. À medida que as plantas absorvem água do solo, elas esgotam a água junto à superfície das raízes. Uma vez que os espaços porosos preenchidos com água interconectam-se, a água move-se em direção à superfície radicular por fluxo de massa através destes canais, obedecendo a um gradiente de pressão.

A curva de retenção de água no solo varia com a textura e a estrutura do solo (VIEIRA, 1989). As curvas características de um solo argiloso (curva superior da Figura 7) ou de um solo arenoso (curva inferior da Figura 7) indicam o armazenamento da água no solo sob diferentes potenciais matriciais (tensões) distintos, permitindo a fixação da altura de água disponível no solo, da lâmina líquida e da lâmina bruta de irrigação, fundamentais ao manejo da irrigação.

A condutividade hidráulica (REICHARDT, 1990) de solos arenosos, como no Horto Florestal de Limeira, com grandes espaços entre as partículas, é elevada, enquanto solos argilosos, com espaços menores entre suas partículas, têm uma condutividade hidráulica apreciavelmente menor, como no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal.

O potencial hídrico é uma medida útil do status hídrico das plantas, pois a difusão, o transporte em massa e a osmose, ajudam a mover a água do solo para a planta (TAIZ & ZEIGEIR, 2004). As condições de solo podem ser responsáveis pelo agravamento das deficiências hídricas, uma vez que pode interferir na adaptação do sistema radicular. À medida que o solo seca, a água é removida do centro dos maiores espaços entre as partículas. Por causa das forças de adesão, a água tende a se prender às superfícies das partículas de solo.

5.5. AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO

A avaliação completa proporciona uma verificação das condições operacionais da instalação e da distribuição da água. Os parâmetros da avaliação do sistema de irrigação, utilizados para a verificação das características do sistema de aspersão, encontram-se na Tabela 6.

O sistema de aspersão utilizado possui marca AS Brasil, modelo ZE 30, dois bocais com diâmetro de 4 x 4,8 mm, com cinco aspersores. O conjunto moto bomba possui uma bomba KSB 65/33/2, com 1.750 *rpm*, motor Arno trifásico, potência CV entre 10 e 60 HZ e corrente de 220 Watts, com pressão da bomba de 4,2 kgf.cm⁻².

Durante o teste de avaliação da irrigação por aspersão não houve evaporação mensurável (0 mm); a velocidade máxima do vento foi de 2 m.s⁻¹. Os minipluviômetros foram espaçados em malha de 2 x 2 metros, em uma área de 216 m² (12 x 18).

Tabela 6 – Lâmina média coletada (\bar{h}), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiensen (CUC), Intensidade de aplicação (I), Lâmina bruta aplicada (H) e Eficiência de Aplicação (E_a) determinados na avaliação completa do sistema de irrigação no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal e no Horto Florestal Municipal de Limeira.

<i>Parâmetros</i>	<i>Campo de Pesquisa</i>	<i>Horto Florestal</i>
\bar{h}	11,98 mm	13,30 mm
CUD	69,64 %	82,38 %
CUC	88,48%	85,74%
I:	10,11 mm/hora	12,88 mm
H	10,11 mm/hora	12,88 mm
E_a	82,50 %	85,08 %

A Tabela 6 apresenta os valores do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, do Coeficiente de Uniformidade de Christiensen e da Eficiência de aplicação determinados no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal e no Horto Florestal Municipal de Limeira que são aceitáveis para o sistema de irrigação por aspersão convencional de acordo com VIEIRA (1989). As diferenças na topografia no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal, com maior declividade em comparação com o Horto Florestal Municipal de Limeira, interferiram nos valores encontrados.

5.6. PRECIPITAÇÃO AFERIDA

A Figura 8 mostra a precipitação mensal nos anos de 2001, 2002, e 2003. As ocorrências de chuvas nos meses do apontam o ano de 2003 como de menor precipitação; no entanto, o volume de precipitação nas fases críticas da cultura foi pequeno nos anos avaliados.

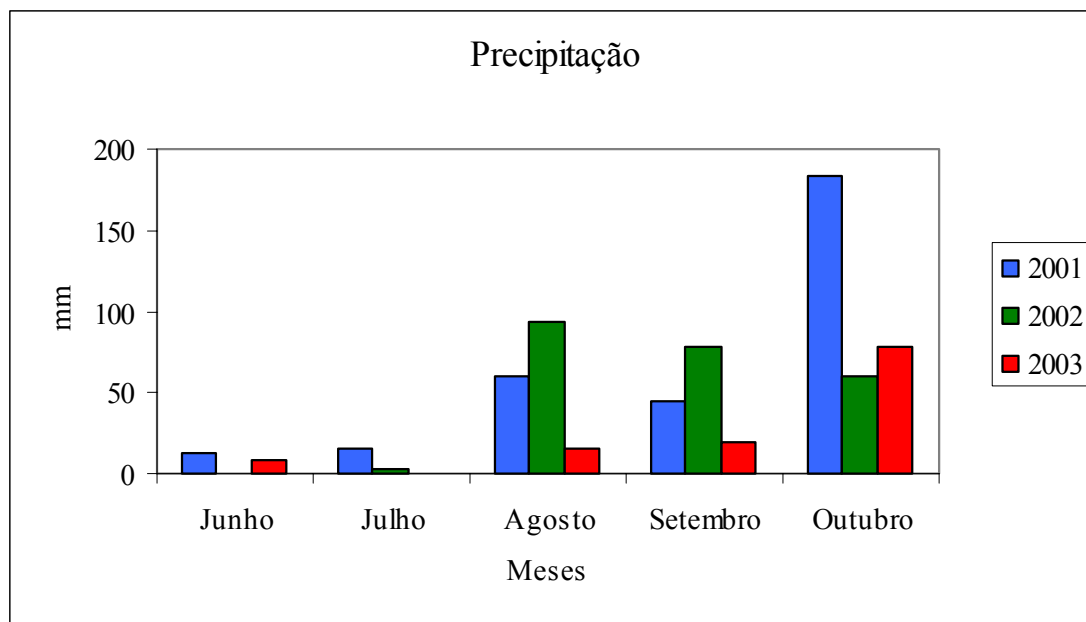


Figura 8 – Precipitação mensal nos anos de 2001, 2002 e 2003, durante os meses de ensaio nos três anos.

Em 2002 ocorreram maiores precipitações nos meses de agosto e setembro (durante o estágio fenológico: vegetativo, formação do botão floral e florescimento), em relação aos outros anos. Nos três anos, durante os meses de junho e julho, correspondentes respectivamente aos estádios vegetativo e início da formação do botão floral, a precipitação total ficou abaixo de 50 mm. O ano de 2003 foi o mais seco dos três avaliados no período.

5.7. ESTUDOS DO SISTEMA RADICULAR

5.7.1. METODOLOGIA DE PRESENÇA E AUSÊNCIA DE RAÍZES

O contato entre a superfície radicular e o solo é essencial para a absorção efetiva de água pelas raízes. Esse contato proporciona a área de superfície necessária para a absorção de água e é maximizado pelo crescimento das raízes e dos pêlos radiculares no solo. Este contato reduz a resistência da interface solo-raíz à passagem de água e permite uma melhor absorção de água pela área de superfície radicular presente.

A Tabela 7 mostra os dados obtidos com o método de presença e ausência. Os valores obtidos correspondem ao somatório de raízes em cada dez centímetros de profundidade nos diferentes tratamentos, em uma área amostrada de um metro quadrado.

Os resultados mostram que a profundidade radicular foi de até 90 centímetros para os tratamentos *Sempre Irrigado* e *Sem Irrigação* e de 80 centímetros para o tratamento *Irrigado nas Fases*. Esses valores são inferiores aos observados por DOORENBOS & KASSAM (1979), UNGER (1990), CONNOR & HALL(1997) e FAO (2004) que afirmam que o sistema radicular do girassol estende a profundidades de 2 a 3 metros.

Nos três tratamentos a maior quantidade de raízes ocorrem nos primeiros 10 centímetros de profundidade, valores semelhantes, porém inferiores aos encontrados por MERRIEN & MILAN (1992), que verificou que entre 80 a 90% do sistema radicular secundário se concentra a dez centímetros de profundidade.

Tabela7 – Distribuição de raízes pelo método de presença e ausência, nos tratamentos *Sempre Irrigado*, *Irrigado nas Fases* e *Sem Suplementação Hídrica*.

	Tratamento <i>Sempre Irrigado</i>												Somatório Número Raízes
Profundidade centímetros	01			02			03			04			
	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	
00 – 10	396	558	843	481	418	634	675	751	569	486	492	460	6763
10 – 20	376	193	303	180	117	311	122	100	202	124	58	181	2267
20 – 30	49	77	13	14	47	10	18	69	29	18	57	14	415
30 – 40	9	50	6	2	21	4	4	7	9	1	25	16	154
40 – 50	2	13	5	0	9	1	0	1	0	3	4	1	39
50 – 60	3	9	0	2	4	0	0	13	0	2	10	0	43
60 – 70	8	36	3	1	6	0	0	1	0	6	5	0	66
70 – 80	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	6
80 – 90	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5
90 – 100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	843	936	1173	680	622	960	830	942	809	640	651	672	9758
	Tratamento <i>Irrigado nas Fases</i>												Somatório Número Raízes
Profundidade centímetros	01			02			03			04			
	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	
00 – 10	616	597	380	694	604	372	848	824	472	699	622	473	7201
10 – 20	78	187	63	144	267	270	223	287	61	135	119	113	1947
20 – 30	17	22	7	15	17	16	37	37	20	17	1	9	215
30 – 40	4	1	5	9	2	2	6	1	2	4	0	0	36
40 – 50	13	6	8	4	0	0	6	1	2	1	0	5	46
50 – 60	4	21	5	2	4	9	11	3	0	3	9	5	76
60 – 70	1	0	0	0	12	2	0	0	0	0	1	2	18
70 – 80	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
80 – 90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90 – 100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	733	834	468	868	909	671	1131	1153	557	859	752	607	9542
	Tratamento <i>Sem Suplementação Hídrica</i>												Somatório Número Raízes
Profundidade centímetros	01			02			03			04			
	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	
00 – 10	761	1077	235	565	1012	184	539	893	141	660	600	147	6814
10 – 20	151	309	67	92	422	122	184	406	75	86	151	83	2148
20 – 30	41	66	29	19	44	7	13	30	56	10	26	41	382
30 – 40	7	49	26	6	33	5	15	25	20	13	7	44	250
40 – 50	10	14	7	16	32	5	11	26	6	10	6	14	157
50 – 60	8	9	5	2	13	5	8	13	1	11	34	5	114
60 – 70	5	13	0	18	3	2	4	9	0	1	8	2	65
70 – 80	7	6	0	4	0	0	0	5	0	0	0	0	22
80 – 90	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3
90 – 100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	990	1543	369	722	1559	330	774	1410	299	791	832	336	9955

Os tratamentos com irrigação mostram número e distribuição semelhante das raízes no perfil do solo, conforme verificado na Tabela 7; no entanto, o tratamento *Sem Irrigação* apresenta de 2 a 4 vezes mais raízes nas profundidades entre 30 e 80 cm que os tratamentos com irrigação. Isto é indicativo de que, como já discutido por MERRIEN & MILAN (1992) e CONNOR & HALL (1997); ocorre um aprofundamento do sistema radicular de girassol quando falta água, de modo a poder absorvê-la das camadas mais profundas e minimizar os efeitos do déficit.

Pela comparação dos três tratamentos estudados, na Tabela 7, observa-se que a quantidade de raízes, encontrada no tratamento *Sempre Irrigado*, foi de 9.747, no tratamento *Irrigado nas Fases* foi de 9.542 e no tratamento *Sem Irrigação* foi de 9.955. De acordo com a Figura 8, que apresenta a precipitação mensal nos anos de 2001, 2002, e 2003, verificamos pouca ocorrência de chuvas nos meses do ensaio e também que no ano de 2003 houve menor precipitação. Nos anos de 2001 e 2003 houve maior ocorrência de chuvas no início do florescimento e no enchimento de grãos, o que possivelmente deve ter contribuído para amenizar os efeitos da falta de suplementação hídrica no tratamento *Sem Irrigação*.

De acordo com TAIZ & ZEIGER (2004) déficits hídricos moderados afetam o desenvolvimento do sistema radicular. A razão da biomassa de raízes para a parte aérea parece ser governada por um balanço funcional entre absorção de água pelas raízes e fotossíntese pela parte aérea. A parte aérea continuará crescendo até que a absorção de água pelas raízes torne-se limitante; inversamente, as raízes crescerão até que sua demanda por fotossintatos da parte aérea iguale-se ao suprimento. Esse balanço funcional é alterado se o suprimento hídrico decrescer.

A Tabela 8 mostra as médias do número de raízes obtidas pelo método de presença e ausência, nos tratamentos *Sempre Irrigado*, *Irrigado nas Fases* e *Sem Suplementação Hídrica* nos anos amostrados. A profundidade do sistema radicular foi afetada pelo déficit hídrico; as maiores médias de número de raízes são observadas no tratamento *Sem Irrigação* na profundidade de 0 a 80 cm e ocorreram diferenças significativas entre as profundidades nos três tratamentos. No tratamento *Sem Irrigação* se observa que o sistema radicular diferenciou ao longo do perfil do solo até aproximadamente 80 cm.

Tabela 8 – Médias do número de raízes obtidas pelo método de presença e ausência, nas profundidades 0 – 10, 10- 20, 20 – 30, 30 – 40, 40 – 50, 50 – 60, 60 – 70 e 80 – 90; nos tratamentos *Sempre Irrigado*, *Irrigado nas Fases* e *Sem Suplementação Hídrica* nos anos amostrados.

		Profundidade (cm)									
Tratamento	Ano	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 90	Média
<i>Sempre Irrigado</i>	2001	504,7 aB	189,1 bA	23,2 cB	3,6 cdB	2,2 cdA	1,4 dA	1,3 dA	0,9 dA	0,8 dA	31,0 A
	2002	548,2 aA	112,0 bB	61,9 bcA	8,7 deA	7,7 deA	5,9 deA	0 eA	0,0 cA	0,0 cA	40,0 A
	2003	618,9 aA	245,8 bA	15,8 cB	8,2 cAB	1,5 cA	0,6 cA	0 cA	0,0 cA	0,0 cA	34,4 A
	Média	556,3 A	177,9 B	30,9 C	10,4 D	3 DE	2,6 DE	2,6 DE	0,3 E	0,3 C	
<i>Irrigado nas Fases</i>	2001	711,9 aA	140,4 bB	20,8 cA	5,6 cdA	5,3 cdA	4,6 cdA	0,2 dA	0 dA	0,0 dA	34,7 A
	2002	658,6 aA	209,3 bA	16,2 cA	8,1 cA	2,1 cA	1,3 cA	0,9 cA	0,6 cA	0,0 cA	35,4 A
	2003	422,9 aB	114,6 bB	12,5 cA	4,1 cA	3,2 cA	1,9 cA	0,8 cA	0,0 cA	0,0 cA	23,4 B
	Média	590,6 A	152,3 B	16,3 C	5,5 CD	3,1 D	2,6 D	0,9 D	0,2 D	0 D	
<i>Sem Irrigação</i>	2001	628,3 aB	125,0 bB	19,3 cA	11,6 cdA	9,9 cdA	6,8 cdA	5,8 cdA	2,1 cdA	0,0 dA	37,5 B
	2002	885,2 aA	311,2 bA	40,1 cA	26,1 cdA	18,0 cdeA	16,1 cdeA	7,8 deA	2,1 eA	0,6 eA	65,8 A
	2003	174,9 aC	85,6 bB	30,2 cA	21,4 cdA	7,7 cdeA	3,8 deA	0,9 eA	0,0 eA	0,0 eA	20,1 C
	Média	514,5 A	161,1 B	29,2 C	18,5 CD	12,1 DE	8,3 DEF	4,4 EFG	1,3 FG	0,2 G	

Médias seguidas por letra minúscula iguais na linha não diferem por Tukey a 5%.

Médias seguidas por letra maiúscula iguais na coluna não diferem por Tukey a 5%.

Na coluna de profundidade média, as médias seguidas por letra maiúscula iguais na coluna não diferem por Tukey a 5%.

Na linha das médias dos três anos, as médias seguidas por letra maiúsculas iguais na linha não diferem por Tukey a 5%.

As Figuras 9, 10 e 11 mostram os resultados do número médio de raízes por quadrícula, nos anos de 2001, 2002 e 2003, respectivamente.

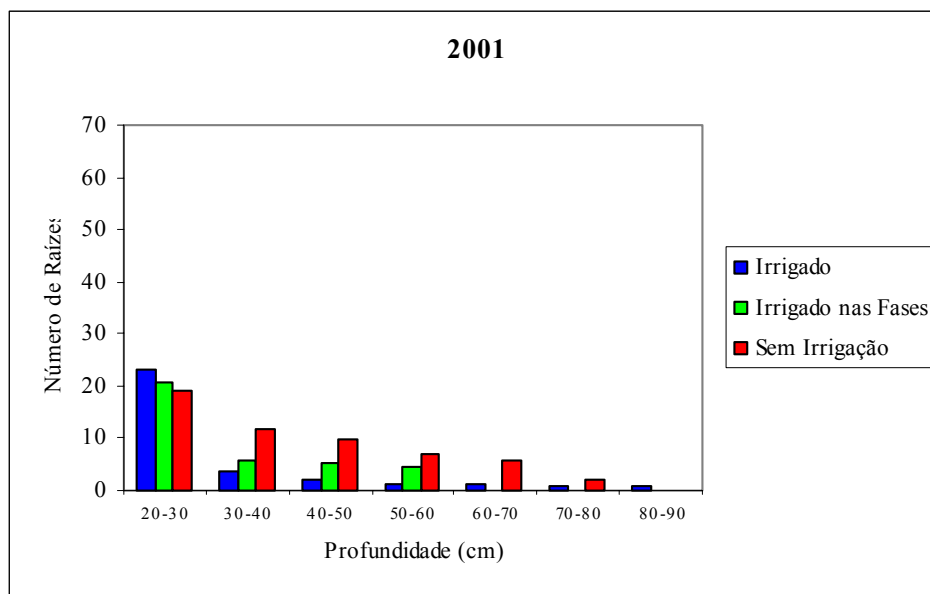


Figura 9 – Resultados do número médio de raízes por quadrícula, no ano de 2001.

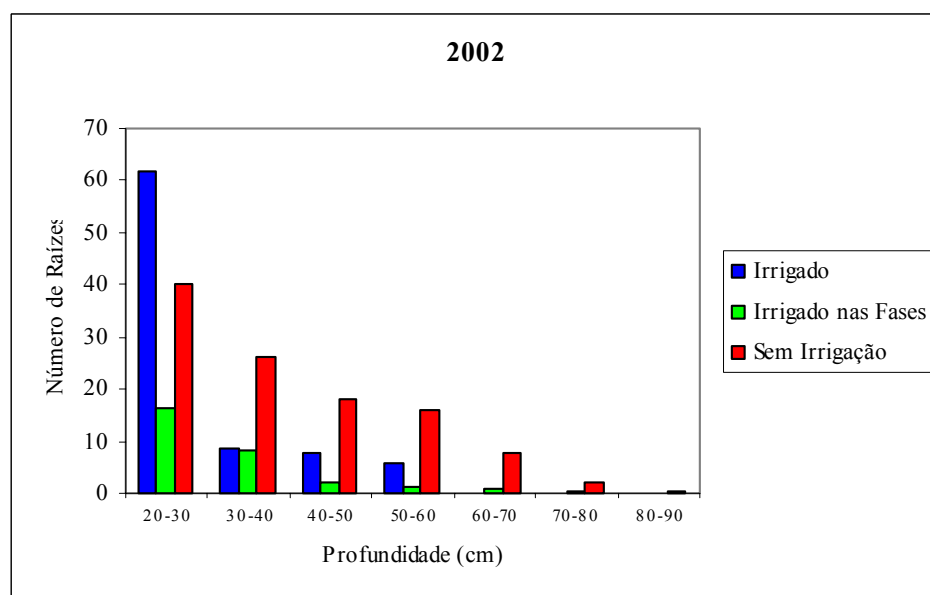


Figura 10 - Resultados do número médio de raízes por quadrícula, no ano de 2002.

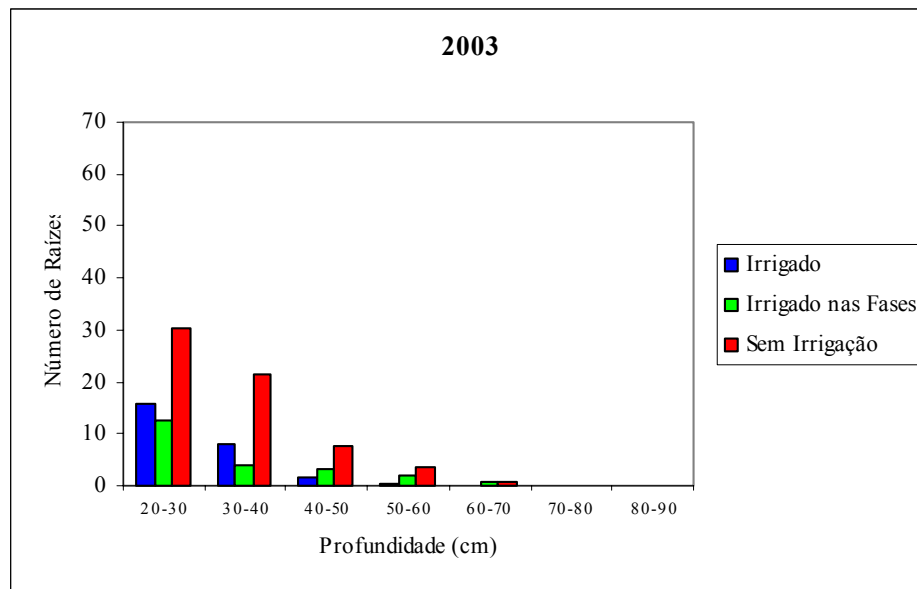


Figura 11 – Resultados do número médio de raízes por quadrícula, no ano de 2003.

De acordo com TAIZ & ZEIGER (2004), a expansão foliar é afetada muito precocemente, quando a absorção de água é reduzida; no entanto, a atividade fotossintética é muito menos atingida. A inibição da expansão foliar reduz o consumo de carbono e energia, e uma proporção maior de assimilados vegetais pode ser distribuída ao sistema subterrâneo, onde eles podem sustentar o crescimento posterior de raízes. Esses fatores levam a um crescimento preferencial das raízes em direção a zonas do solo que permanecem úmidas, conforme podemos observar nas Figuras 9, 10 e 11 comparando os tratamentos *Sempre Irrigado* e *Sem Irrigação*. Com o avanço dos déficits hídricos, as camadas superiores do solo são, em geral, as primeiras a secar. A Tabela 7 mostra que as plantas exibem um sistema de raízes predominantemente superficial quando todas as camadas do solo estão umedecidas, como podemos verificar no tratamento *Sempre Irrigado*, e perda de raízes superficiais e proliferação de raízes profundas, quando a água é esgotada nas camadas superiores do solo, no tratamento *Sem Irrigação*. O crescimento mais profundo de raízes em direção ao solo úmido, pode ser considerado uma defesa do girassol contra a seca.

Na Tabela 9, observamos que houve diferença significativa entre a média do tratamento *Sem Irrigação* com as médias dos tratamentos *Irrigados nas Fases* e *Sempre Irrigado*, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Há um aumento no número de raízes nas camadas mais profundas do solo quando ocorre deficiência hídrica acentuada, visualizada nas Figuras 9, 10 e 11.

Tabela 9 - Resultados do número médio de raízes por quadrícula avaliada no perfil do solo.

Tratamentos	Número de Raízes/ Ano		
	2001	2002	2003
<i>Sempre Irrigado</i>	7,54 b	13,70 b	6,39 b
<i>Irrigado nas fases</i>	8,16 b	7,20 c	6,03 b
<i>Sem Irrigação</i>	13,01 a	22,51 a	8,34 a
CV%	28,96	24,43	23,09

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna não diferem por Tukey a 5%.

Com os dados obtidos na distribuição de raízes pelo método de presença e ausência, no perfil de solo, nos tratamentos *Sempre Irrigado*, *Irrigado nas Fases* e *Sem Suplementação Hídrica* é apresentada na Tabela 10, a profundidade correspondente a 80% da quantidade de raízes acumuladas ao longo do perfil.

Tabela 10 - Número total de raízes encontradas no perfil do solo, valor correspondente a 80% da quantidade de raízes acumuladas ao longo do perfil, quantidade acumulada de raízes até 20 centímetros de profundidade e profundidade efetiva encontrada nos diferentes tratamentos estudados.

Tratamentos	Número de raízes		Número de raízes	Profundidade Efetiva (cm)
	100 %	80%	20 cm de profundidade	80% das raízes
<i>Sempre Irrigado</i>	9.747	7.798	9.030	17,3
<i>Irigado nas fases</i>	9.542	7.934	9.148	16,7
<i>Sem Irrigação</i>	9.955	7.964	8.962	17,8

A profundidade efetiva do sistema radicular foi definida como sendo a correspondente a 80% da quantidade de raízes acumuladas ao longo do perfil do solo segundo BERNARDO (1982) e ARRUDA (1989)

Para fins de monitoramento da irrigação, a metodologia mostrou que a profundidade efetiva do sistema radicular do girassol, conforme a Tabela 10, no tratamento *Sempre Irrigado* foi de 17,3 centímetros, no tratamento *Irigado nas Fases* foi de 16,7 centímetros e no tratamento *Sem Irrigação* foi de 17,8 centímetros; sugerindo uma profundidade perfil do solo para irrigação da cultura de girassol de 20 centímetros.

A necessidade de resolver o conflito da falta de água determina um sistema radicular extenso e numeroso para extrair água do solo. A grande área de superfície das raízes se reflete na capacidade das mesmas em absorver água e nutrientes da solução do solo. As raízes crescem continuamente durante o ciclo da cultura; a proliferação das mesmas, no entanto, depende da disponibilidade de água e nutrientes no microambiente que circunda a raiz. As plantas exibem mecanismos de aclimação que são ativados em resposta ao estresse hídrico. Uma planta capaz de obter mais água ou que tem maior eficiência no seu uso resistirá melhor à seca. Quando o déficit hídrico apresenta evolução suficientemente lenta para permitir mudanças nos processos de desenvolvimento, vários efeitos sobre o crescimento podem ocorrer; entre os quais o

aprofundamento do sistema radicular, conforme se observa nas Figuras 9, 10 e 11, e a limitação do desenvolvimento foliar, como discutido no item Fitomassa.

Como a precipitação no ano de 2003 foi muito inferior, principalmente na fase vegetativa da cultura, aos outros dois anos (Figura 8), o desenvolvimento radicular em profundidade foi semelhante enquanto que o número total de raízes (Tabela 7), foi significativamente menor no tratamento *Sem Irrigação* em comparação aos outros tratamentos.

O girassol mostra aptidão da planta para enfrentar o estresse hídrico; uma das adaptações que pode ser ressaltada é a capacidade do sistema radicular em aprofundar à procura de áreas mais úmidas do solo, onde o tratamento *Sem Irrigação* (Tabela 7) mostra a presença de raízes até a profundidade de 80 centímetros, valores estes semelhantes aos encontrados por CONNOR & HALL (1997) sob condições de estresse hídrico. Outra adaptação seria a redução na parte aérea.

No tratamento *Sempre Irrigado*, ocorre uma grande quantidade de raízes na zona superficial, até 20 centímetros de profundidade, em comparação aos demais tratamentos. O crescimento radicular proporcionou exuberante desenvolvimento, pois um sistema radicular bem desenvolvido, mesmo que relativamente superficial, atente as necessidades nutricionais da planta de acordo com os resultados encontrados por CONNOR & HALL (1997), sob condições semelhantes de cultivo irrigado. MERRIEN & MILAN (1992), sob outras condições de solo e cultivar encontraram a maior porcentagem de raízes nos primeiros 10 centímetros.

5.7.2. METODOLOGIA DO TRADO

O método do trado permite uma avaliação quantitativa do sistema radicular, em mg de raiz por volume do solo. Ele permite um grande número de amostragens no campo e em ensaios, sem comprometimento da área amostrada, mesmo em parcelas pequenas. É um método extremamente trabalhoso, principalmente quanto à limpeza final das raízes. A amostragem no campo é relativamente rápida e simples, mas exige solo ligeiramente úmido. A lavagem e separação final das raízes são demoradas, em função da quantidade de raízes e da quantidade de material orgânico, palha e agregados do solo. Outra dificuldade em relação à metodologia é a grande diversificação espacial, que resulta em coeficientes de variação bastante altos entre as repetições.

A Tabela 11 corresponde à amostragem das raízes nos diferentes tratamentos, nos três anos do ensaio, em suas respectivas datas; ela mostra a quantidade de raízes em mg.cm^{-3} .

Tabela 11 – Distribuição de raízes em mg.cm^{-3} , pelo método do trado, no perfil de 0 a 30 centímetros, com incrementos de 10 cm de profundidade, a 10 e a 20 centímetros da planta, nos tratamentos *Sempre Irrigado*, *Irrigado nas Fases* e *Sem Suplementação Hídrica* nos anos amostrados.

Densidade de raízes (mg.cm ⁻³)		Estágio Fenológico							
		Vegetativo		Formação do botão floral		Enchimento de grãos		Maturação fisiológica	
Distância da planta (cm)									
Tratamentos	Profundidade (cm)	10	20	10	20	10	20	10	20
<i>Sempre Irrigado</i>	0-10	13,1	9,1	16,4	14,2	23,8	27,5	14,9	21,3
	10-20	2,7	2,9	9,7	5,3	9,1	10,1	7,6	9,2
	20-30	0,0	0,0	1,4	0,5	1,1	2,7	2,5	2,1
<i>Irrigado nas Fases</i>	0-10	15,4	10,5	20,9	24,3	26,0	32,1	15,7	29,7
	10-20	2,5	5,2	9,9	7,7	19,2	14,6	8,9	9,8
	20-30	0,0	0,0	2,7	2,0	2,9	3,3	3,8	2,7
<i>Sem Irrigação</i>	0-10	13,1	16,7	19,4	33,8	20,7	21,6	20,5	29,7
	10-20	6,1	10,3	8,6	27,8	2,9	14,2	8,2	10,1
	20-30	0,0	0,0	4,1	4,0	2,1	2,3	3,5	2,2

A Tabela 11 mostra que por esse método de amostragem, uma maior concentração das raízes nas camadas superficiais, 0 a 0,20 m, valores estes concordantes com os que foram encontrados pelo método da presença e ausência de raízes.

Através dos dados do ensaio, nota-se que ocorre uma ligeira variação na quantidade de raízes entre as profundidades estudadas e entre a distância da haste da planta. Ocorrem variações nas quantidades de raízes para a mesma profundidade, e, variando-se a profundidade, foram obtidos valores diferentes para uma mesma distância da haste.

As maiores densidades de raízes no perfil de 0 a 0,10 m foram encontradas no tratamento *Irigado nas Fases*, seguidos pelos tratamentos *Sem Irrigação* e *Sempre Irrigado*. No perfil de 0,20 a 0,30 a maiores densidades foram obtidas para o tratamento *Sem Irrigação*.

Na comparação dos resultados entre as duas metodologias de avaliação do sistema radicular pelas Tabelas 9 e 11, se observam os dados obtidos com a metodologia da presença e ausência e método do trado, respectivamente. Os resultados mostram que o método de presença e ausência apresenta um maior número de raízes que o método do trado. O método de presença e ausência superestima a avaliação, uma vez que não leva em consideração o diâmetro das raízes na quadrícula de 2 x 2 centímetros avaliada. A avaliação é rápida e fornece uma idéia da distribuição do sistema radicular no perfil e indica se, por exemplo, existe no solo algum impedimento ao enraizamento. Sempre que se trabalha em perfil é necessário computar o tempo para abertura das trincheiras e preparo dos perfis.

Como parte do objetivo foi avaliar a quantidade de raízes por essas duas metodologias, os dois métodos apresentaram comportamentos similares, fornecendo avaliações coerentes quando comparados na mesma fase de desenvolvimento.

A Figura 12 mostra o sistema radicular de duas plantas no estágio de início da formação do botão floral sob os tratamentos *Sem Irrigação* (esquerda) e *Sempre Irrigado* (direita).



Figura 12 – Diferenciação do sistema radicular do girassol sob os tratamentos *Sem Irrigação* (esquerda) e *Sempre Irrigado* (direita).

A Figura 12 mostra, com clareza, as diferenças entre os sistemas radiculares desenvolvidos com e sem estresse hídrico. O tratamento *Sem Irrigação* induziu um crescimento da raiz pivotante, em profundidade, e um menor desenvolvimento nas camadas mais superficiais do solo enquanto a ausência de estresse hídrico, no *Sempre Irrigado*, houve um grande desenvolvimento nas camadas mais superficiais e uma raiz pivotante menos pronunciada. É visível que a morfologia do sistema radicular é afetada pela quantidade de água presente no solo.

No solo, a água é se movimenta predominantemente por transporte de massa e o contato íntimo entre a superfície radicular e o solo é essencial para a absorção efetiva de água pelas raízes. Na planta sob déficit hídrico (tratamento *Sem Irrigação*) o eixo radicular pivotante se pronuncia e se estende para zonas mais profundas em busca de água; quando a planta se encontra sob condições ótimas de disponibilidade de água, o sistema radicular principal desenvolve raízes laterais, formando uma massa extensamente ramificada e superficial (tratamento *Sempre Irrigado*).

Sem crescimento, as raízes iriam rapidamente esgotar o solo adjacente à sua superfície tanto em água quanto em nutrientes. Portanto, a aquisição ótima de água e nutrientes dependem da capacidade de absorção e da habilidade das raízes em crescer em direção a um solo inexplorado.

5.8. PARÂMETROS DE PRODUÇÃO

Para cada tratamento foram separadas parcelas homogêneas compostas por três linhas de plantio por quatro metros de comprimento.



Figura 13 – Massa seca da haste.

O material vegetal foi coletado durante maturação fisiológica da cultura e posteriormente colocado em estufa para que após a secagem natural o material da massa de matéria seca das hastes (Figura 13), dos capítulos (Figura 14) e das folhas (Figura 15) fosse pesado.



Figura 14 – Massa seca do capítulo.



Figura 15 – Massa seca das folhas.

A altura das plantas, produção e peso de mil sementes também foram avaliados.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado contendo os fatores ano de plantio e suplemento hídrico.

Foram utilizadas quatro repetições.

5.8.1. ALTURA E DIÂMETRO

A análise de variância detectou diferenças significativas entre os tratamentos e indicou diferença significativa entre as médias da altura nos anos amostrados, conforme verificamos na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados médios da altura de planta, em centímetros.

Tratamento	2001	2002	2003	Média
<i>Irrigado</i>	144,96 a	178,05 a	191,15 a	171,39 a
<i>Irrigado nas Fases</i>	123,93 b	159,70 b	142,60 b	142,08 b
<i>Sem Irrigação</i>	115,91 b	129,50 c	113,42 c	119,61 c
Média	128,27 C	155,75 A	149,06 B	
CV %	7,28 %			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem por Tukey a 5%.

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem por Tukey a 5%.

A Tabela 12 mostra que no tratamento *Sem Irrigação*, como o fluxo de água e a absorção de nutrientes pelas raízes foram baixos, sendo que as plantas desenvolveram extenso sistema radicular para obter água e nutrientes; somente uma pequena fração das necessidades totais da planta foi suprida conseqüentemente a parte aérea das plantas foi menor.

Os resultados médios do diâmetro dos capítulos nos anos amostrados são exibidos na Tabela 13. Observou-se que o diâmetro do capítulo aumentou conforme diminuiu o déficit hídrico; os menores valores foram encontrados no tratamento sem suplementação hídrica e o maior, no tratamento sempre irrigado. De maneira geral houve diferença significativa entre as médias dos

tratamentos estudados. No entanto, na interação ano x tratamento, não houve diferença significativa entre os anos 2002 e 2003.

Estes resultados são concordantes com os obtidos por SINGH & SINGH (2000) que também encontraram menores diâmetros com estresse hídrico, principalmente no final do ciclo, como aconteceu nos anos amostrados do ensaio.

Tabela 13 – Resultados médios do diâmetro do capítulo, em centímetros.

Tratamento	2001	2002	2003	Média
<i>Irrigado</i>	13,99	16,50	17,27	15,92 a
<i>Irrigado nas Fases</i>	13,02	16,24	16,44	15,23 a
<i>Sem Irrigação</i>	12,05	13,52	13,34	12,97 b
Média	13,02 B	15,42 A	15,68 A	
CV %	9,67 %			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem por Tukey a 5%.

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem por Tukey a 5%.

A assimilação dos nutrientes pelas raízes transcorre com a absorção de água; no tratamento *Sempre Irrigado* se observa maior vigor das plantas, consequência da maior quantidade de água e nutrientes absorvidos, como foi observada também por MERRIEN & MILAN (1992) e UNGARO et al. (1985).

5.8.2. FITOMASSA

Os resultados médios do peso de massa seca da haste nos diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 14. Os resultados mostram que restrição hídrica reduz a produção de massa seca de haste.

Tabela 14 - Resultados médios da massa seca da haste, em gramas por 10 m².

Tratamento	2001	2002	2003	Média
<i>Irrigado</i>	1.555 a	2.505 a	3.910 a	2.657 a
<i>Irrigado nas Fases</i>	1.230 a	1.766 b	2.200 b	2.732 b
<i>Sem Irrigação</i>	1.055 a	1.254 b	1.660 b	1.323 c
Média	1.280 C	1.842 B	2.590 A	
CV %	17,9 %			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem por Tukey a 5%.

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem por Tukey a 5%.

Houve diferença significativa entre os tratamentos estudados. A interação ano e tratamento foi significativa, resultado das diferenças de solo e precipitação ocorrida. Houve um aumento da massa seca da haste conforme se aumenta o aporte de água. Isto indica que a planta sob estresse deve favorecer o desenvolvimento do capítulo em detrimento da altura de planta, dados concordantes aos obtidos por UNGARO et al. (1985), em que a planta desenvolvida sob severa restrição hídrica também dirigiu os assimilados para o capítulo e produção de sementes em detrimento da produção de fitomassa.

A Tabela 15 mostra os resultados médios, em gramas da massa seca do capítulo, nos diferentes tratamentos. A massa seca de capítulo aumentou conforme diminuiu o déficit hídrico; os menores valores foram encontrados no tratamento *Sem Suplementação Hídrica* e o maior, no *Sempre Irrigado*, apesar das médias do tratamento *Sempre Irrigado* e *Irrigado nas Fases* não diferirem significativamente, comportamento semelhante ao obtidos por ANDRADE (2000), FURTADO (1982) e PALLA (1980) com ensaios sob condições de estresse hídrico, porém com cultivares diferentes.

Tabela 15 - Resultados médios da massa seca do capítulo, em gramas por 10 m².

Tratamento	2001	2002	2003	Média
<i>Irrigado</i>	1.862	3.266	3.727	2.952 a
<i>Irrigado nas Fases</i>	1.660	2.801	3.285	2.582 ab
<i>Sem Irrigação</i>	1.444	2.224	2.480	2.049 b
Média	1.655 B	2.764 A	3.164 A	
CV %	22,7 %			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem por Tukey a 5%.

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem por Tukey a 5%.

Os resultados fazem supor que, mesmo sob estresse hídrico, a translocação de assimilados para produção de grãos continuou sendo feita, apesar de ocorrer em menor intensidade. Essa intensidade relativa de translocação sob estresse hídrico permite às plantas mobilizar e utilizar reservas onde elas são necessárias (enchimento das sementes), mesmo quando o déficit hídrico é severo. A capacidade de continuar translocando assimilados é um fator-chave na resistência da cultura à seca.

Pode-se observar, na Tabela 16, os resultados médios da massa seca de folha, em gramas nos diferentes tratamentos e anos do ensaio. A ausência de suplementação hídrica proporcionou menores valores de massa seca de folha. Observou-se, também, que houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que no tratamento *Sempre Irrigado* ocorreram as maiores médias.

Tabela 16 – Resultados médios da massa seca de folha; em gramas por 10 m².

Tratamento	2001	2002	2003	Média
<i>Irrigado</i>	622 a	1.099 a	2.380 a	1.400 a
<i>Irrigado nas Fases</i>	513 a	1.040 ab	1.685 b	1.079 b
<i>Sem Irrigação</i>	409 a	727 b	1.320 c	819 c
Média	514 C	989 B	1.795 A	
CV %	17,6 %			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem por Tukey a 5%.

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem por Tukey a 5%.

Segundo TAIZ & ZEIGER (2004), o estresse hídrico na cultura de girassol afeta a fotossíntese e a expansão foliar. A expansão foliar é muito sensível ao estresse hídrico, sendo completamente inibida sob níveis moderados de estresse, o que afeta severamente as taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, a produção de grãos. Os mecanismos de resistência à seca, que respondem ao estresse hídrico, incluem diminuição da área foliar, expansão radicular para zonas mais profundas e úmidas do solo e fechamento estomático.

No presente experimento, com a diminuição do conteúdo de água na planta, o girassol limitou não apenas o tamanho das folhas, mas também a quantidade de folhas, avaliada indiretamente pela massa seca de folha (Tabela 16) e haste (Tabela 14) mas também pela redução

no porte da planta, facilmente comparável pelas Figuras 16 e pelas Fotos 17, 18 e 19; e aprofundou o sistema radicular em busca de água, como já discutido anteriormente.

A Figura 16 mostra os resultados médios da altura de plantas e número de folhas durante o desenvolvimento do girassol, em dias após o plantio, durante o ano de 2003. Observa-se um maior desenvolvimento na altura das plantas no tratamento *Sempre Irrigado* e menor desenvolvimento para o tratamento *Sem Suplementação Hídrica*. A altura das plantas aumenta conforme diminui o déficit hídrico; os menores valores foram encontrados no tratamento *Sem Suplementação Hídrica*, seguidos pelo tratamento Irrigado nas Fases e Sempre Irrigado.

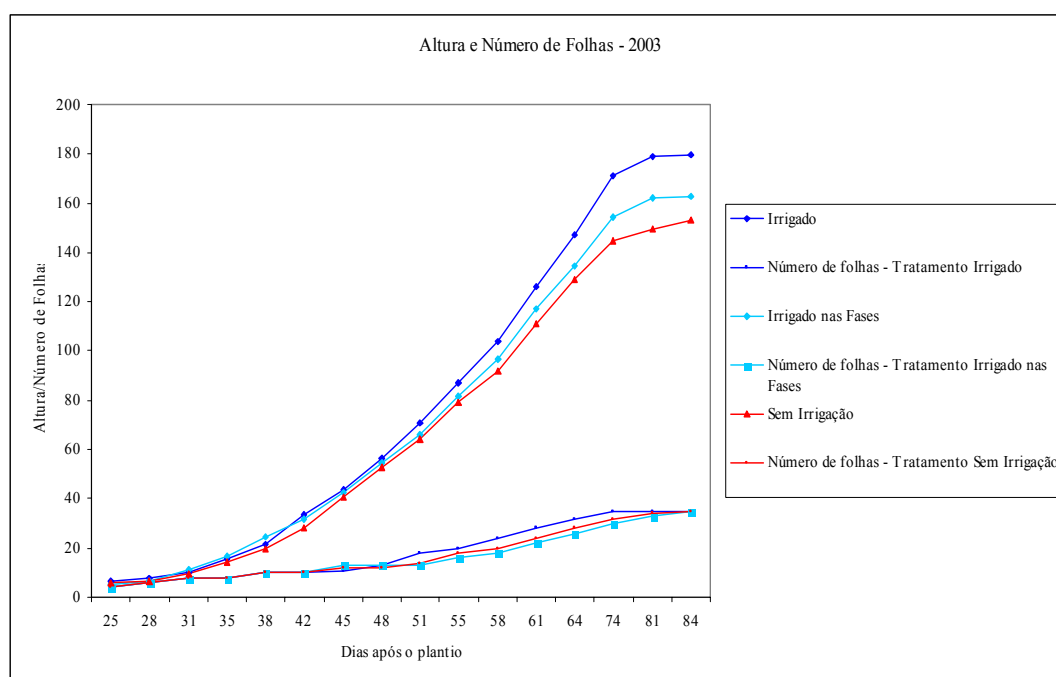


Figura 16 – Gráfico do número de folhas e altura de plantas durante o desenvolvimento do girassol, no Horto Municipal de Limeira, no ano de 2003.

O girassol, sob estresse hídrico, não limita o número de folhas, porém limita o vigor da planta (Figuras 17, 18 e 19). Como a expansão foliar depende principalmente da expansão celular

que é afetada no início do desenvolvimento de déficits hídricos, a produtividade de plantas é limitada pela água, e depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso. Uma planta capaz de obter mais água ou que tem maior eficiência no seu uso resistirá melhor à seca. Quando o déficit hídrico apresenta evolução suficientemente lenta para permitir mudanças nos processos de desenvolvimento, o estresse hídrico tem vários efeitos sobre o crescimento, um dos quais é a limitação da expansão foliar.

As Figuras 17, 18 e 19 apresentam as diferenças morfológicas do girassol sob os tratamentos *Sempre Irrigação*, *Irigado nas Fases* e *Sem Irrigação* respectivamente.



Figura 17 – Aspecto da cultura no tratamento *Sempre Irrigado*.

No tratamento *Sempre Irrigado* (Figura 17), notadamente se observa maior tamanho das plantas e área foliar em comparação ao tratamento *Irigado nas Fases* (Figura 18) e ao tratamento *Sem Irrigação* (Figura 19), pois a expansão foliar é afetada desfavoravelmente pela disponibilidade de água. A área foliar é importante, porque em geral a fotossíntese é proporcional à mesma.



Figura 18 – Aspecto da cultura no tratamento *Irrigado nas Fases*.

A Figura 19 apresenta as plantas sob severa restrição hídrica no tratamento *Sem Irrigação*, as quais apresentam menor altura de planta, área foliar e crescimento reduzido, o que certamente contribuiu para redução na produtividade de grãos e fitomassa seca.



Figura 19 – Aspecto da cultura no tratamento *Sem Irrigação*.

A área foliar menor transpira menos, o que leva a uma menor absorção de água do solo, prolongando o tempo de utilização das reservas hídricas. Assim, a redução da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa contra a seca, conforme podemos verificar pela Tabela 16, onde o tratamento *Sem Irrigação* obteve o menor resultado da massa seca de folha, seguido pelo

tratamento *Irrigado nas Fases*, sendo o tratamento *Sempre Irrigado* o que obteve maior massa seca de folha.

No tratamento *Sempre Irrigado*, a planta apresentou maior vigor vegetativo revelando uma estratégia de aclimação em tal condição; o florescimento ocorreu alguns dias mais tarde que no tratamento *Sem Suplementação Hídrica*.

5.8.3. PRODUÇÃO

A Tabela 17 mostra os resultados médios da produção de grãos nos anos amostrados. Observou-se que houve maior produção no tratamento *Sempre Irrigado* e menor produção para o tratamento *Sem Irrigação*, comportamento semelhante aos obtidos por CASTRO (2000), SINGH & SINGH (2000), BALDINI et al. (2000), FLAGELLA et al. (2000), ANDRADE (2000), FURTADO (1982) e PALLA (1980), com variedades diferentes.

Tabela 17 – Resultados médios da produção de grãos; em gramas por 10 m².

Tratamento	2001	2002	2003	Média
<i>Irrigado</i>	1.732	1.604	1.860	1.732 a
<i>Irrigado nas Fases</i>	1.483	1.425	1.541	1.483 b
<i>Sem Irrigação</i>	1.122	1.112	1.131	1.121 c
Média	1.446	1.380	1.511	
CV %	12,3 %			

Média seguida por letras iguais minúsculas na coluna não diferem por Tukey a 5%.

A produção aumenta conforme diminui o déficit hídrico; os menores valores foram encontrados no tratamento *Sem Suplementação Hídrica*. A análise de variância detectou diferenças significativas entre as médias dos tratamentos e não indicou diferença significativa entre os anos, indicativo de que a melhor fertilidade do solo em 2003 minimizou o maior estresse hídrico ocorrido naquele ano.

A Tabela 18 mostra que o peso de 1000 sementes e a produção dos tratamentos foram afetados pela suplementação hídrica; os maiores valores foram observados nos tratamentos *Sempre Irrigado* e *Irrigado nas Fases*.

Tabela 18 – Resultados médios do peso de 1000 sementes; em gramas.

Tratamento	2001	2002	2003	Média
<i>Irrigado</i>	75,50	69,25	81,2	75,33
<i>Irrigado nas Fases</i>	72,25	71,00	73,75	72,33
<i>Sem Irrigação</i>	61,50	64,00	58,75	61,41
Média	71,25	69,75	68,08	
CV %	9,86 %			

Os menores valores foram encontrados no tratamento *Sem Irrigação*, o que concorda com os resultados de SILVA (1982), FURTADO (1982), UNGARO et al (2000b), ABOUDRARE et al (2000), BALDINI et al (2000), FLAGELA et al (2000), SINGH & SINGH (2000), NEL (2000), ASRI (2000) e CASTRO et al (2000). Apesar dos resultados terem mostrado a mesma tendência de redução no peso de 1000 sementes no tratamento *Sem Suplementação Hídrica*, nos três anos amostrados as diferenças encontradas foram estatisticamente não significativas.

No tratamento *Sem Irrigação*, os assimilados foram dirigidos para as sementes, em detrimento da parte aérea e raízes. A competição por assimilados entre raízes e sementes explica porque as plantas são geralmente mais sensíveis ao estresse hídrico durante a reprodução. A capacidade de continuar translocando assimilados é um fator chave em quase todos os aspectos da resistência à seca, pois a intensidade relativa de translocação quanto ao estresse permite às plantas mobilizar e utilizar reservas onde elas são necessárias como à produção de semente, visível no tratamento *Sem Irrigação*, mesmo quando a deficiência hídrica é severa.

5.8.4. ALTURA DE PLANTAS

As Figuras 20, 21 e 22 apresentam as alturas de planta encontradas no ensaio, durante o desenvolvimento da cultura nos três tratamentos, nos anos de 2001, 2002, 2003. Foi observado maior desenvolvimento para os tratamentos com suplementação hídrica no decorrer do ciclo vegetativo da cultura.

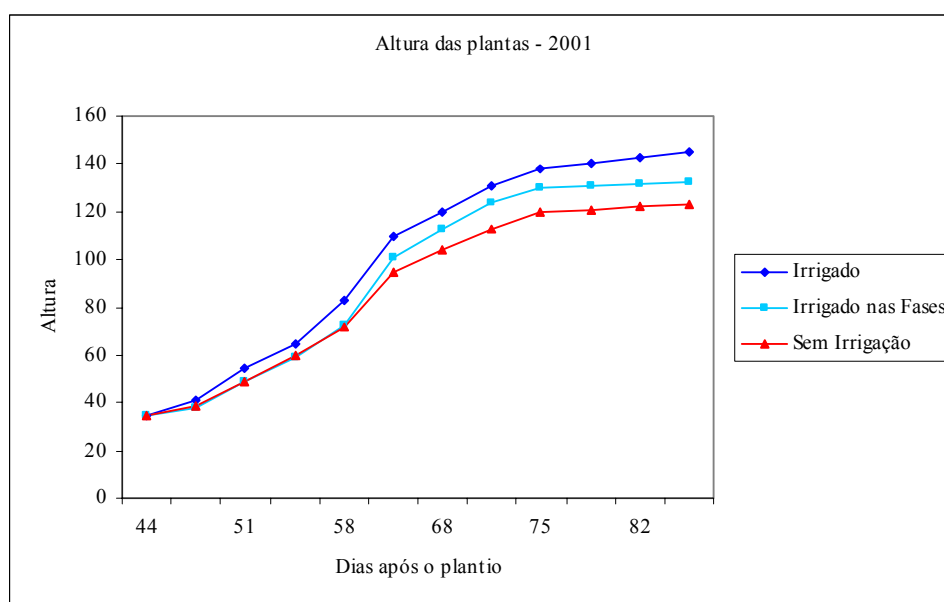


Figura 20 – Gráfico das alturas de plantas durante o desenvolvimento do girassol, no Campo de Pesquisa Hidrogrícola do Pinhal, no ano de 2001.

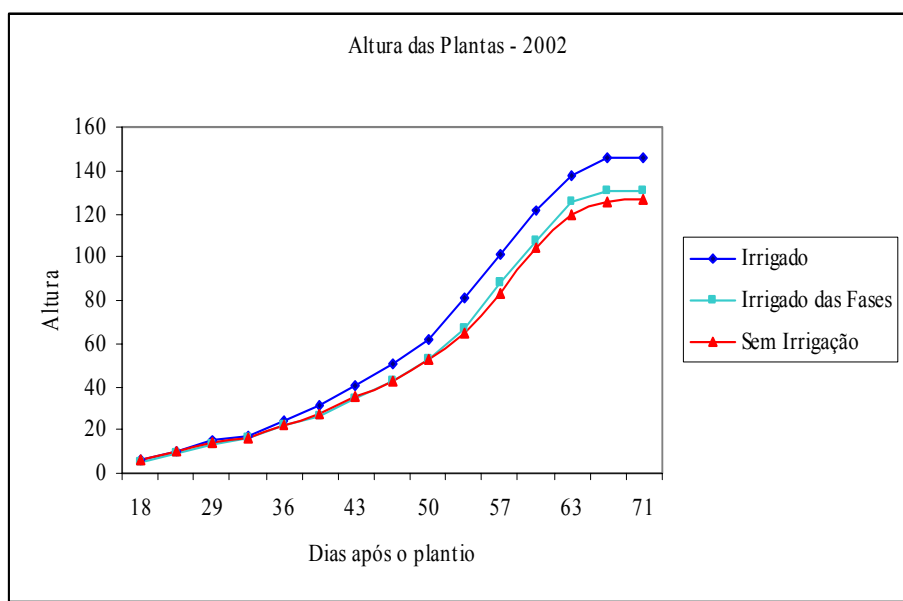


Figura 21 – Gráfico das alturas de plantas durante o desenvolvimento do girassol, no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal, no ano de 2002.

A Figura 22 apresenta o desenvolvimento da altura das plantas no ano de 2003, onde se observa uma altura de aproximadamente 1,80 metros para o Tratamento *Sempre Irrigado* enquanto para o tratamento *Sem Suplementação Hidrica* a altura observada foi de aproximadamente 1,30 metros. Nos anos de 2001 e 2002 (Figuras 20 e 21), a altura máxima observada foi de aproximadamente 1,40 metros para o tratamento *Sempre Irrigado*, 1,30 metros para o tratamento *Irrigado nas Fases* e aproximadamente 1,20 metros para o tratamento *Sem Irrigação*. O desenvolvimento da altura das plantas apresentado no ensaio é concordante com os resultados obtidos por CONNOR & HALL (1997), UNGARO et al. (2000b) e FLAGELA et al. (2000) utilizando diferentes cultivares.

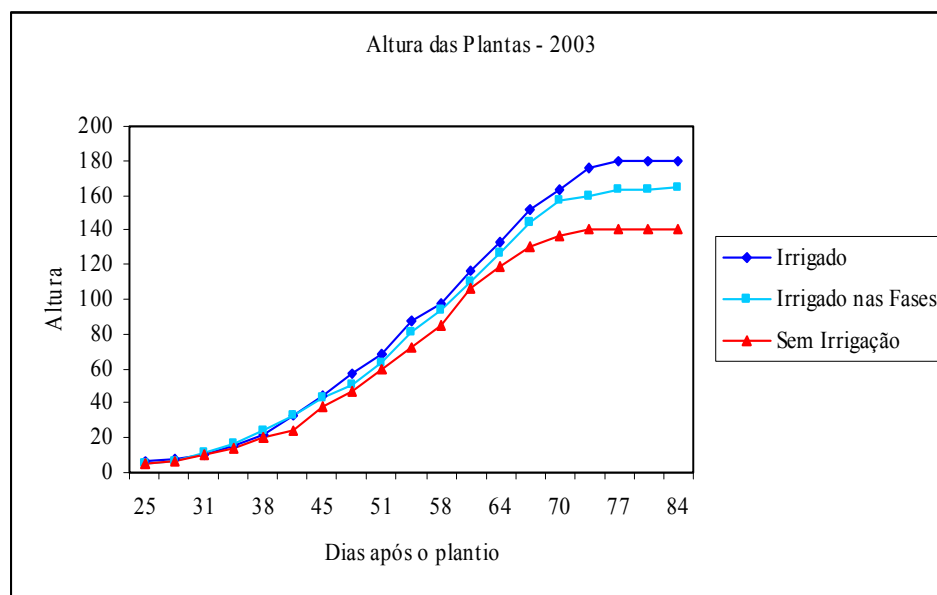


Figura 22 – Gráfico das alturas de plantas durante o desenvolvimento do girassol no Horto Municipal de Limeira, no ano de 2003.

5.9. DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA

Os valores médios, obtidos nos três anos amostrados, do coeficiente da cultura (k_c) encontram-se na Tabela 19. Os dados foram calculados a partir da média de quatro lisímetros, em cada um dos cultivos de 2001, 2002 e 2003.

Tabela 19 - Relação dos valores médios do coeficiente da cultura (k_c) encontrados no Campo de Pesquisa Hidroagrícola do Pinhal anos de 2001 e 2002 e no Horto Florestal de Limeira, ano de 2003, de acordo com os dias após o plantio.

Dias após o plantio	Ano 2001	Ano 2002	Ano 2003
20	0,3	0,3	0,4
45	0,7	0,7	0,75
70	1,06	0,95	1,1
93	0,75	0,65	0,8
115		0,5	0,6

A Tabela 19 mostra a média do coeficiente da cultura (k_c) ocorrida nos anos dos ensaios. Observou-se que, no ano de 2003, os valores dos coeficientes da cultura foram maiores em comparação aos outros anos. O que pode ter contribuído para essa diferença nos valores encontrados é que o plantio de 2003 foi feito em área com solo de melhor característica química que a encontrada no solo dos dois outros anos de ensaio.

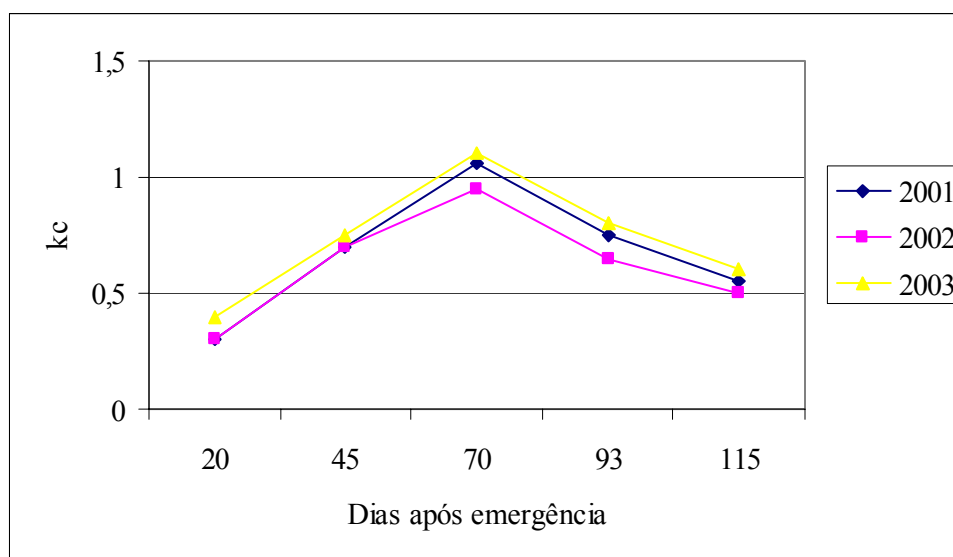


Figura 23 – Coeficiente da cultura (k_c) obtido em diferentes fases da cultura. Valores médios obtidos nos três anos do experimento.

As avaliações de k_c mostraram um padrão semelhante nos diferentes anos agrícolas, porém com valores diferentes a cada ano (Figura 23).

Nos três anos os valores de k_c foram menores na avaliação realizada aos 20 dias após a emergência, crescendo até próximo à fase de formação do botão floral (45-50 dias após a emergência), diminuindo após o florescimento e atingindo valores próximos aos iniciais na maturação fisiológica (115 dias).

Os valores encontrados foram semelhantes aos resultados obtidos por DOORENBOS & KASSAM (1979) em condições de clima temperado que encontraram 0,3 a 0,4 durante o estágio inicial (20 a 25 dias), 0,7 a 0,8 durante o estágio vegetativo (35 a 40 dias), 1,05 a 1,2 durante o estágio florescimento (40 a 50 dias), 0,7 a 0,8 durante o enchimento de grãos (25 a 30 dias) e 0,4 na maturação fisiológica porém trabalhando sob clima temperado.

Tabela 20 – Correlação entre a evapotranspiração real e a temperatura, a umidade relativa e o vento.

Ano	Temperatura			UR	Vento
2001	0,30	0,31	0,34	-0,16	0,22
2002	-0,03	0,05	0,01	0,04	0,18
2003	-0,03	-0,13	-0,11	0,18	0,15

Na Tabela 20 verifica-se uma baixa correlação significativa e diretamente proporcional entre a ETR e a temperatura em 2001; no entanto, o mesmo não foi verificado nos demais anos do experimento.

Tabela 21 – Correlação entre o coeficiente da cultura e a temperatura, a umidade relativa e o vento.

Ano	Temperatura			UR	Vento
2001	-0,11	-0,08	-0,10	0,27	0,15
2002	-0,27	-0,27	-0,30	0,37	0,00
2003	-0,10	-0,22	-0,20	0,39	-0,03

A Tabela 21 indica influência positiva da UR sobre o k_c , isto é, quanto maior a UR maior será o coeficiente da cultura. A influência desempenhada pelo vento e pela temperatura foi não significativa na maior parte das vezes; no entanto, em 2002, a temperatura desempenhou um papel negativo sobre o k_c .

5.10. TEOR DE ÓLEO E PROTEÍNA

As amostras de sementes foram coletadas após a colheita dos grãos e enviadas para análise no Centro de Química de Alimentos e Nutrição Aplicada, Instituto de Tecnologia de Alimentos – SP, onde foram determinadas as quantidades de lipídios totais por extração direta (FIRESTONE, 1998) e proteína bruta (AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS, 1990).

A Tabela 22 mostra a quantidade de precipitação no ano de 2003, ocorrida nos meses do ensaio, entre julho e outubro, tradicionalmente secos. Observou-se que a precipitação total foi de 48 mm; na fase de enchimento de grãos ocorreu uma precipitação de 15,2 mm; durante o florescimento 17,1 mm e na formação do botão floral 5,5 mm. A precipitação observada não deve ter contribuído substancialmente para mudanças no teor de proteína e lipídeos dos grãos observados nos três tratamentos estudados.

Tabela 22 - Quantidade de precipitação em milímetros, ocorrida durante o ano de 2003.

Data (2003)	Total de precipitação (mm)	Estádio Fenológico
11/07	0,6	
07/08	3,8	Vegetativo
08/08	2,1	
09/08	1,3	
10/08	2,4	
26/08	5,5	Formação do botão floral
11/09	4,0	Florescimento
13/09	0,6	
17/09	12,5	
27/09	2,7	Enchimento de grãos
08/10	12,5	
10/10		Colheita

Os resultados médios do teor de lipídeos totais obtidos encontram-se na Tabela 23, onde se pode observar que o teor de lipídios totais foi maior quando não ocorreu restrição hídrica. A ausência de suplementação hídrica e a irrigação nas fases críticas resultaram em menor teor de lipídios, porém, sem diferença estatística entre estes dois tratamentos. Os dados concordam com os resultados obtidos, para diferentes cultivares, por FURTADO (1982), SINGH & SINGH (2000) e FLAGELLA et al. (2000) e ASRI et al. (2000) e discorda do resultado observado por ANDRADE (2000), que não encontrou diferença para o cv. Cargil 11.

No caso da proteína, ocorreu um aumento no teor obtido nas parcelas à medida que a suplementação hídrica diminuiu, não havendo diferença entre as parcelas quando elas foram irrigadas nas fases críticas da cultura ou mesmo sem suplementação hídrica. Para ANDRADE (2000), a menor quantidade de suplementação hídrica não teve influência no teor de proteína dos grãos de girassol cv. Cargil 11.

Tabela 23 – Resultados médios do teor de lipídios totais (extração direta) e proteína bruta.

Tratamentos	Lipídios Totais g.100g ⁻¹	Proteína g.100g ⁻¹
Sempre Irrigado	34.70 a	18.47 b
Irrigado nas Fases	32.87 b	20.32 ab
Sem Irrigação	33.32 b	21.05 a

Média seguida por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem por Tukey a 5%.

A síntese de óleo se efetua a partir dos produtos de degradação da glicose. É a acetil co-enzima A que rege a repartição de assimilados disponíveis entre a proteogênese e a lipidogênese. Em situações não limitantes em energia, a planta orienta os assimilados preferencialmente para a produção de óleo (MERRIEN & MILAN, 1992). No caso de restrição hídrica, os assimilados são orientados para a síntese de produtos de menor custo energético, como as proteínas, o que pode explicar o aumento no teor de proteína nos grãos obtidos de plantas cultivadas sob restrição hídrica.

6. CONCLUSÕES

Para o cultivar M-742:

A planta desenvolvida sob marcante estresse hídrico tende a produzir raízes em maior número e se aprofundar mais no solo que aquela sem restrição hídrica.

Há maior concentração de raízes no horizonte superficial do solo, até 20 centímetros, independentemente da disponibilidade de água.

A irrigação nas fases de formação do botão floral e de enchimento de grãos é suficiente para garantir níveis de desenvolvimento da planta e do sistema radicular bem como produção de grãos semelhantes à da planta desenvolvida sem restrição hídrica.

Ocorre acentuada diminuição na massa seca de haste, capítulo e folha como consequência do estresse hídrico.

Plantas desenvolvidas sob marcante estresse hídrico produziram cerca de 30% menos em peso de grãos que as *Sempre Irrigadas* e 20% menos que as *Irrigadas nas Fases*.

A redução da área foliar, através da redução na altura da planta, mostrou-se como um dos mecanismos de resposta do girassol à escassez de água.

A planta sob restrição hídrica tende a produzir um maior teor de proteína em detrimento da produção de lipídeos.

O k_c encontrado mostrou os menores valores aproximadamente aos 20 dias após a emergência, atingindo os valores mais elevados na fase de formação do botão floral (45-50 dias após a emergência).

O k_c encontrado mostrou os menores valores aproximadamente aos 20 dias após a emergência, atingindo os valores mais elevados na fase de formação do botão floral (45-50 dias após a emergência).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, S. J. Efeito de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol. Jaboticabal: FCAVJ, UNESP, 2000. Tese Doutorado – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, 2000. 71 p.
- ALBOUDRARE, A. BOUAZIZ, A. PHILIPPE D. Voies d'amélioration de la productivité et de l'efficacité d'utilisation de l'eau chez le tournesol sous climat méditerranéen semi-aride. 15^e Conférence Internationale Tournesol. International Sunflower Conference, 15. **Proceedings**: 200. International Sunflower Association. v.1: p. C121-C1267. 2000.
- ALQUINI, Y.; BONA, C.; BOEGER, M. R. T.; COSTA, C. G.; BARROS, C. F. Epiderme In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERRIRO, S. M. **Anatomia Vegetal**. Viçosa: UFV, 2003. 86-107.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – APPROVED METHODS*, 8th ed., v. II, AACC, St. Paul, 1990 (Method 46-12).
- ARRUDA, F. B. Necessidade de água nas culturas - Elementos de projeto. **III Curso prático internacional de agrometeorologia para otimização da irrigação**. Instituto Agrônomo. Campinas, 1989. 35p.

- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; HAYASHI, A. H. Raiz. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERRIRO, S. M. **Anatomia Vegetal**. Viçosa: UFV, 2003. 267-281.
- ASRI, M. E.; ESSAHAT, A.; BOUNIOLS, A.; MONDIES, M. Rendement et qualite des graines du tournesol cultive sous contrainte hydrique. Resultats des essais en cooperation au Maroc et dans le sud-ouest de la France. 15^o Conférence Internationale Tournesol. International Sunflower Conference, 15. **Proceedings**: 200. International Sunflower Association. v.1: p. C127-C132. 2000.
- ATKINSON, D. The distribution and effectiveness of root of tree crops. In: **JANICK**, J. Ed. Horticultural Reviews. Mailing, 2: 424-490, 1980.
- BALDINI, M.; GIOVANARDI, R.; VANNOZZI, G. P. Effects of different water availability on fatty acid composition of the oil in standard and high oleic sunflower hybrids. International Sunflower Conference, 15. Proceedings: 2000. International Sunflower Association. V.1, p. A79-A84, 2000
- BERNARDO, S. Manual de Irrigação. Universidade Federal de Viçosa, **Viçosa** – MG, 2 ed. 1982, 463 p.
- BOHN, W. Methods of studying root systems. Ecological studies. **Berlin, Springer** – Verlag, 1979. 189p.
- BONA, S.; MOSCA, G.; CANTELE, A.; VAMERALI, T. Response of sunflower to progressive water stress. In: International Sunflower Conference, 15, 2000, Toulouse, **Proceedings...** Paris: International Sunflower Association, 2000. vol. I, p.D58-D63.
- CÂMARA, G.M.S. **Introdução à cultura do girassol**. Piracicaba. ESALQ-USP, 1998. Apostila. Departamento de Agricultura. 1998. 10p.

- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas, **Boletim Técnico 106**. Instituto Agronômico. Campinas. 94 p. 1986.
- CASTRO, C. MOREIRA, A. ABREU, J. B. R. Sunflower response to water stress and boron application. International Sunflower Conference, 15. **Proceedings**: 2000. International Sunflower Association. Vol.1: p. 145-149. 2000
- CETIOM. **Tournesol: Les Techniques Culturelles; Le Contexte Économique**. Prolea. 36 p. 2000. Thiverval Grignon.
- CHAPMAN, S. C.; HAMMER, G. L.; MEINKE, H. A sunflower simulation model: I. Model development. **Agron. J.**, v. 85, p. 725-735. 1993.
- CHONÉ, E. Physiologie de la formation du rendement chez le tournesol. **Informations Techniques**, CETIOM, Paris, v.83, p.3-72, 1983.
- CONNOR D. J. & HALL A. J. Sunflower Physiology. Sunflower Technology and Production. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. 1997. p. 113-182
- DIAS, J. A. A. **Consumo de água do girassol cultivado em evapotranspirômetro de lençol freático constante**. Lavras: UFL, 1995. Tese Mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, 1995. 50p.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), 1979. Cap. Sunflower. p.150-152.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting**. Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 24. Food and Agriculture Organization of United Nations, Roma, Italia, 1975, 180p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações técnicas para o cultivo de girassol**. Disponível na Internet. <http://www.cnpso.embrapa.br>. 10 Fev. 2005.

FAO – **Crop Water Management – Sunflower**. Disponível na Internet. <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwater/sunflower.stm>. 11 Jan. 2004.

FERNANDES, C.; CORÁ J. E. ; ARAÚJO, J. A. C. Utilização do tanque Classe A pra a estimativa evapotranspiração de referência dentro de casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p. 46-50, jan./abr, 2004.

FIRESTONE, D. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists society, AOCS, 5TH, ED., VOL. I-II, CHAMPAIGN, 1998.** (Method Bc 3-49).

FLAGELLA, Z.; ROTUNNO, Di CATERINA, R.; SIMONE, G.; CICIRETTI, L.; De CARO, A. Effect of supplementary irrigation on seed yield and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown in a sub-arid environment. International Sunflower Conference, 15. **Proceedings**: 2000. International Sunflower Association. v.1: p. C139-C144. 2000.

FUJIWARA, M.; KURACHI, S. A. H.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SAKAI, E. A técnica de estudo de raízes pelo método do trado. **Boletim Técnico No 153**. Campinas, Instituto Agrônômico, 12p.1994.

FURTADO, E. L. **Efeito da irrigação em diferentes períodos do desenvolvimento da cultura de girassol (*Helianthus annuus* L.) sobre o comportamento biológico e produtividade de óleo e proteína dos grãos**. Jaboticabal: FCAVJ, Unesp, 1982. Trabalho de graduação – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 1982. 110p.

GOMES, E. M. **Estudo comparativo do sistema radicular de citros sob três tipos de irrigação**. Campinas, FEC, UNICAM, 1996. Tese Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1996.

- GOMES, E. M.; UNGARO, M. R. G.; VIEIRA, D. B. **Influência da suplementação hídrica na altura de planta, diâmetro de capítulo, peso de sementes e produção de grãos.** III Simpósio Nacional de Girassol, XV Reunião Nacional de Girassol. Outubro de 2003. Ribeirão Preto. SP. CD- ROM. 2003.
- GOMES, E. M.; UNGARO, M. R. G.; VIEIRA, D. B. **Impacto da suplementação hídrica no acúmulo e partição da matéria seca de girassol.** III Simpósio Nacional de Girassol, XV Reunião Nacional de Girassol. Outubro de 2003. Ribeirão Preto. SP. CD- ROM. 2003.
- GOYNE, P. J.; WOODRUFF, D. R.; CHURCHETT, J. D. Prediction of flowering sunflowers. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Husbandry**, Melbourne, v. 17, p. 475-481. 1978.
- GOYNE, P.J.; WOODRUFF, D. R.; CHURCHETT, J. D. Environmental causes of yield variation rain grown sunflower in Central Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v.18, p. 129-134. 1978.
- GOYNE, P.J.; HAMMER, G.L. Phrenology of sunflower cultivars. II Controlled-environment studies of temperature and photoperiod effects. **Australian Journal of Research**, Sidney, v. 33, p. 251-261. 1982.
- GUIMARÃES, M. F.; Três metodologias de avaliação de raízes: descrição, limitações e vantagens. **In: Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária**, I, nov. 1996, São Carlos/SP. EMBRAPA-CNPDIA.
- INFORZATO, R. **Distribuição do sistema radicular da cana de açúcar, em solo tipo terra-roxa legítima.** Bragantina - Boletim técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo. Campinas, v. 16, n. 1, p. 1-13, 1957.
- JORGE, L. A. C. Recomendações Práticas para Aquisição de Imagens Digitais Analisadas Através do Siarcs. Circular Técnica n. 1. Dezembro, 1996. Embrapa Instrumentação Agropecuária.

- KOLESNIKOV, V. **The root systems of fruit plants**. Moscou, 269p. 1971.
- LOPES, J. **Biodiesel em trator: Qual o consumo?** III Simpósio Nacional de Girassol, XV Reunião Nacional de Girassol. Outubro de 2003. Ribeirão Preto. SP. CD- ROM.
- MARLOTH, R. H. Citrus growth studies. Periodicity of root-growth and top growth in Nursery Seedlings and Buildings. **Journal Hort. Sci.**, n. 25, p. 50 –59, 1950.
- MASSIGNAM, A. M.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia na estimativa da duração dos subperíodos de desenvolvimento de três cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p. 71-79, 1993.
- MEDINA, J. C.; INFORZATO, R.; PETTINELLI, M. **Sistema radicular do fórmio, sisal e bambu imperial. Bragantina** - Boletim técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo. Vol. 22, Campinas, n. 6, p. 60-71, 1963.
- MERRIAM, J.L. & KELLER, J. **Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management** Utah State University, Logan, EUA. 1978, 271p.
- MERRIEN, A. & MILAN M. J. **Phylogie du Tournesol**. Paris. Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains, 1992. Racines et feuilles. p. 21-27
- MONTEITH, J. L. **Conservative behavior in the response of crops to water and light**. p. 3-16. In: R. Rabbinge et al. (editor) *Theoretical production ecology: Reflections and prospects*. Pudoc, Wageningen, 1990.
- NEL, A. A.; LOUBSER, H. L.; HAMMES, P. S. The effect of crop water status on the yield, composition and processing quality of sunflower seed. . INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 15, 2000, Toulouse. **Proceedings...** Paris: **International Sunflower Association**, 2000. v.1, p. 133-138.

NETO, D. D.; LOPES J. C. M. Determinação da profundidade efetiva do sistema e do evapotranspiração média na cultura do milho. ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna. **ABID**, Brasília. v.30, setembro, 1987.

PALLA, V. L. **Estudo comparativo do comportamento de plantas C3 (girassol) e C4 (milho) em função da irrigação, tipo de solo e época de semeadura**. Jaboticabal: FCAVJ, Unesp, 1980. Trabalho de graduação – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 1980. 68p.

PELEGRINI, B. **Girassol - Uma planta solar que das Américas conquistou o mundo**. São Paulo: Ícone Editora Ltda., 1985. 117p.

PIMENTEL-GOMES F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002, 309p.

QUAGGIO, J.A. & UNGARO, M.R.G. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Boletim Técnico, 100. Campinas, IAC, 1996. p.198.

RAWSON, H. M.; DUNSTONE, R. L.; LONG, M. J.; BEGG, J. E. Canopy development, light interception and seed production in sunflower as influenced by temperature and radiation. **Aust. J. Plant Physiology**, v. 11, p. 255-265, 1984.

RAWSON, H. M.; HINDMARSH, J. H. Effects of temperature on leaf expansion in sunflower. **Aust. J. Plant Physiology**., v.9, p. 209-219, 1982.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Editora Manole Ltda. São Paulo, 1990,188p.

ROBINSON, R. G. Production and culture. In: **Sunflower Science and Technology**. Ed. J. F Carter, Madison, American Society of Agronomy, n°. 19, p.89-143. 1978.

- RODRIGUEZ, J. M. I.; FERNÁNDEZ, J. B. **Dimensionamiento de rede de tuberías de riego por goteo en parcela.** In: SEMINÁRIO SOBRE PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO, Campinas, 1986. p. 19-36. Faculdade de Engenharia Civil - Unicamp. 1986.
- SILVA, F. L. Efeitos da irrigação em diferentes períodos da cultura de girassol (*Helianthus annuus* L.), sobre o acúmulo de matéria seca e a produtividade de grãos. Trabalho de Graduação – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, 1982. 84 p.
- SOARES, W. R.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. M. N. Coeficientes de cultura no estágio de desenvolvimento inicial (kc inicial) para diferentes texturas de solos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.21, n.3, p.218-226, set. 2001.
- SCALOPPI, E. J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 54-63, 1986.
- SENTELHAS, P. C.; NOGUEIRA, S. S. S.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; SANTOS, R. R. Temperatura-base e graus-dia para cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria**, v.2, p. 43-49, 1994.
- SINGH, D. A. & SINGH, S. M. Impact of irrigation on sunflower productivity. International Sunflower Conference, 15. **Proceedings**: 2000. International Sunflower Association. v.1, p. 109-114. 2000
- TAIZ, L & ZEIGER. Fisiologia Vegetal. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p. TURCO, J. E. P.; FERNANDES, E. J.; PEREIRA, G. T. Aplicação da técnica de determinação de erros no método do tanque Classe A. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.20, n.1, p.82-86, jan. 2000.
- UNGARO, M. R. G. **Cultura de Girassol.** Boletim Técnico, 188. Instituto Agrônomo, Campinas. 2000. 36p.

- UNGARO, M. R. G. Comportamento de introduções de girassol plantadas em diferentes épocas e locais do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico N° 103**. Campinas, Instituto Agrônômico, 16p. 1986a.
- UNGARO, M. R. G. Instruções para a cultura do girassol. **Boletim Técnico N° 105**. Campinas, Instituto Agrônômico, 26p.1986b.
- UNGARO, M. R. G.; NOGUEIRA, S. S. S.; NAGAI, V. Parâmetros Fisiológicos, produção de aquênios e fitomassa de girassol em diferentes épocas de cultivo. **Bragantia**, Campinas, 59 (2), p. 205-211, 2000b.
- UNGARO, M. R. G.; QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; DECHEN, S. C. F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O. M. Comportamento do girassol em relação à acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, 44(1):41-48, 1985.
- UNGER, P. W. Sunflower. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. **Irrigation of agricultural crops**. Agronomy Series, Wisconsin, n. 30, p. 775-794. 1990.
- VIEIRA, D. B. **As técnicas de Irrigação**. Coleção do Agricultor. Editora Globo S.A. São Paulo SP., 1989, 263p.
- VILLA NOVA, N. & OMETTO, J. C. Instruções para utilização do Tanque Classe A em estimativas da evapotranspiração potencial real e frequência de irrigação. In: **Anais do III Seminário Nacional de Irrigação**, Vol. III. Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ABID), Fortaleza, CE, 1976, 336p.