

**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA**

**DINÂMICA DO ENRAIZAMENTO DO MILHO (*Zea mays* L.) SOB  
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS DO SOLO, COM O RECURSO AO  
MÉTODO DO MINI-RIZOTRÃO**

*Maria Paula von Gilsa Rasquilha*

**ÉVORA**

**1997**

UNIVERSIDADE DE ÉVORA  
MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

**DINÂMICA DO ENRAIZAMENTO DO MILHO (*Zea mays L.*) SOB  
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS DO SOLO, COM O RECURSO AO  
MÉTODO DO MINI-RIZOTRÃO**



86 129

*Maria Paula von Gilsa Rasquilha*

Dissertação apresentada na Universidade de Évora  
para obtenção do grau de mestre

ÉVORA

1997

**“Este trabalho não inclui as  
observações e críticas feitas pelo júri”**

## Agradecimentos

A autora deseja expressar o seu reconhecido agradecimento a todos quantos contribuíram para a realização deste trabalho, em particular:

- À Prof. Associada Maria do Rosário Gamito Oliveira, do Departamento de Fitotecnia da Universidade de Évora, pelo estímulo e por todo o apoio prestado na orientação e acompanhamento do trabalho, concretamente ao nível de sugestões, críticas e revisão da dissertação.

- Ao Eng. José Baeta, da Secção de Melhoramento de Arroz da Estação Agronómica Nacional, pela valiosa colaboração no tratamento e análise estatística dos dados.

- À Eng. Ana Maria Morgado dos Santos, do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora e à Eng. Maria da Graça Pereira, da Estação Nacional de Melhoramento de Plantas, pelo estímulo e ajuda que sempre lhe dispensaram.

- Ao Sr. Manuel Junça, funcionário do Laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora, pela prestimosa ajuda no trabalho de campo.

- Aos funcionários do Instituto Nacional de Investigação Agrária de Alvalade do Sado, especialmente ao Eng. Técnico Agrário Manuel Bica e à Eng. Técnica Agrária Gina Bica, pela colaboração e disponibilidade no decurso do trabalho de campo.

- Aos familiares e amigos, pelo incentivo, ajuda e colaboração.

## ÍNDICE GERAL

• <u>Resumo</u>	VII
• <u>Índice de Quadros</u>	IX
• <u>Índice de Figuras</u>	X
1. JUSTIFICAÇÃO E OBJECTIVOS DO ESTUDO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	5
2.1. Localização do ensaio	5
2.2. Caracterização do solo do campo de ensaio	6
2.3. Delineamento experimental	8
2.3.1. Estratégias de rega	9
2.4. Instalação do ensaio	12
2.4.1. Operações culturais	12
2.4.2. Piquetagem do campo	13
2.4.3. Fornecimento de água à cultura	13
2.4.4. Instalação dos mini-rizotrões	15
2.4.5. Instalação e calibração do equipamento para estudo das condições hídricas do perfil do solo	17
2.5. Observações efectuadas	18
2.5.1. Na cultura	18
2.5.1.1. No sistema radical	18
2.5.1.2. Na parte aérea	27
2.5.2. No solo: condições hídricas ao longo do ensaio	28
2.6. Análise estatística	28

<b>3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>30</b>
<b>3.1. Caracterização das condições hídricas do solo</b>	<b>30</b>
<b>3.2. Comportamento da cultura</b>	<b>34</b>
<b>3.2.1. Parte aérea</b>	<b>34</b>
<b>3.2.2. Sistema radical</b>	<b>36</b>
<b>3.3. Calibração do método do mini-rizotróo</b>	<b>61</b>
<b>4. CONCLUSÕES GERAIS</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>75</b>

## Resumo

Num ensaio para avaliar o desempenho do modelo EPICTPR sob condições edafo-climáticas específicas do Alentejo, comparativamente com outros meios de decisão de rega, procedeu-se ao estudo da dinâmica do enraizamento da cultura do milho (*Zea mays* L.). Seguiu-se um delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos correspondentes a seis estratégias de rega (modalidades principais): condução da rega através de determinações da temperatura da folhagem com o termómetro de infravermelho - T.I.V. (M<sub>1</sub>), utilização do modelo EPICTPR em situações de recursos hídricos ilimitados (M<sub>2</sub>) e limitados (M<sub>3</sub>), simulação do procedimento adoptado pelos agricultores da região em situações de recursos hídricos ilimitados (M<sub>4</sub>) e limitados (M<sub>5</sub>) e regime de sequeiro (M<sub>6</sub>). A cultura foi semeada em linhas e o fornecimento de água foi feito através do método da rega por sulcos.

Para observar as raízes recorreu-se ao método do mini-rizotrão utilizando-se um endoscópio adaptado a uma câmara fotográfica que permitiu fotografar as raízes a diferentes profundidades. As observações foram efectuadas em 5 épocas ao longo do ciclo cultural ( 61, 81, 105, 130 e 150 dias após sementeira). Determinou-se a Intensidade Radical em termos de número de raízes por unidade de área superficial do tubo (IR<sub>n</sub>) - N<sup>o</sup>/cm<sup>2</sup>, em dois locais de amostragem (submodalidades): sobre a linha de sementeira e no camalhão, junto ao início do talude do sulco. Nas determinações destinadas à calibração do método (efectuadas apenas numa das modalidades e em todas as épocas à excepção da 3<sup>a</sup>) foi também avaliada a Intensidade Radical em termos de comprimento da raiz por unidade de superfície do tubo (IR<sub>c</sub>) - cm/cm<sup>2</sup>, correlacionando os valores dos dois parâmetros referidos com os da Densidade Radical (DR<sub>c</sub>) - cm/cm<sup>3</sup>, provenientes de determinações efectuadas em amostras de solo + raízes, colhidas com a sonda.

Os dados relativos à IR<sub>n</sub>, observados em 11 pontos ao longo do mini-rizotrão (desde a superfície até aos 110 cm, com incrementos de 10 cm) permitiram estimar as equações de regressão de acordo com cada época, modalidade e submodalidade. Os respectivos valores dos coeficientes de determinação serviram de base ao tratamento estatístico.

Verificou-se que na linha existiram diferenças significativas entre modalidades, mas as épocas não foram significativamente diferentes. Quanto ao talude, as diferenças entre épocas foram altamente significativas mas as modalidades já não foram significativamente diferentes. Na situação Linha, constatou-se a deslocação da profundidade de enraizamento máximo ao longo das épocas de observação. Em relação ao Talude, observou-se um aumento da  $IR_n$  nas camadas mais profundas, a partir da 3ª época, inclusive.

De igual modo se concluiu que as diferentes modalidades influenciaram os rendimentos finais da cultura.

Procedeu-se à calibração pormenorizada do método do mini-rizotróo correlacionando os valores da Intensidade Radical com os da Densidade Radical, para diferentes situações: total de observações feitas em todas as épocas e locais, observações feitas em épocas diferentes e em locais diferentes (Linha e Talude) e observações feitas para diferentes camadas do solo, nomeadamente os 30 cm superficiais e as camadas abaixo dos 30 cm.

Para o par de variáveis  $IR_n / DR_c$  os coeficientes de correlação foram significativos, quer na situação em que foram considerados todos os valores, quer quando dos mesmos se excluíram os relativos aos 30 cm superficiais. Em relação ao par de variáveis  $IR_c / DR_c$  os coeficientes de correlação obtidos nas referidas situações foram muito significativos. Tendo apenas em conta os valores respeitantes aos 30 cm superficiais, obtiveram-se valores de  $r$  muito significativos, para ambos os pares de variáveis.

Em todas as situações estudadas foi com o par de variáveis  $IR_c / DR_c$  que se obtiveram valores de  $r$  mais elevados.

Destacaram-se as correlações muito significativas obtidas quando se consideraram apenas os 30 cm superficiais, contrariamente ao observado por outros autores, facto este que constitui uma das principais críticas ao método do mini-rizotróo.

Finalmente os dados obtidos foram analisados e tratados no sentido de encontrar uma equação multivariável que modelasse o processo de enraizamento da cultura nas duas submodalidades (Linha e Talude), em função da profundidade, do grau de satisfação hídrica (dotações de água) e do tempo (dias após sementeira).



## Índice de Quadros

<b>Quadro 1 - Valores médios mensais do ano de 1995, referentes à estação meteorológica de Alvalade (LN.LA).</b>	<b>5</b>
<b>Quadro 2 - Dados relativos à análise granulométrica do solo e respectiva classificação textural.</b>	<b>6</b>
<b>Quadro 3 - Valores de retenção da água no solo, Capacidade de campo, Coeficiente de emurchecimento, Água utilizável, Densidade aparente, Densidade real e Porosidade.</b>	<b>7</b>
<b>Quadro 4 - Condutividade hidráulica do solo.</b>	<b>7</b>
<b>Quadro 5 - Regas, datas de realização e dotações aplicadas.</b>	<b>14</b>
<b>Quadro 6 - Rendimento (0% de humidade), Biomassa aérea total e Índice de colheita, para as diferentes modalidades.</b>	<b>35</b>
<b>Quadro 7 - Análise de Significância: efeito linear, efeito quadrático e efeito cúbico.</b>	<b>37</b>
<b>Quadro 8 - Relação entre o nº de dias após sementeira, a profundidade e a dotação de rega vs. Intensidade Radical (IR<sub>n</sub>).</b>	<b>60</b>
<b>Quadro 9 - Análise de variância sequencial.</b>	<b>60</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 -	Esquema de divisão do campo de ensaio (adaptado de Varela, 1996).	8
Figura 2 -	Representação esquemática dos locais de observação do sistema radical, evidenciando a posição dos tubos mini-rizotróo em relação à planta e ao sulco.	9
Figura 3 -	Câmara fotográfica adaptada ao endoscópio.	19
Figura 4 -	Mini-rizotróo, endoscópio, câmara fotográfica e adaptador (a) e fonte de luz (b).	19
Figura 5 -	Localização de cada fotografia ao longo do tubo.	21
Figura 6 -	Representação esquemática do sistema de elutriação hidropneumático para separar as raízes do solo.	24
Figura 7 -	Equipamento de lavagem: A - Aspecto geral; B - Pormenor do sistema em funcionamento.	25
Figura 8 -	Equipamento de medição do comprimento radical.	26
Figura 9 -	Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 1.	31
Figura 10 -	Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 2.	31
Figura 11 -	Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 3.	32
Figura 12 -	Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 4.	32
Figura 13 -	Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 5.	33
Figura 14 -	Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 6.	33
Figura 15 -	Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Linha - 1ª Época de observação (61 dias após sementeira).	37

Figura 16 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Linha - 2ª Época de observação (81 dias após sementeira).	38
Figura 17 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Linha - 3ª Época de observação (105 dias após sementeira).	39
Figura 18 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Linha - 4ª Época de observação (130 dias após sementeira).	40
Figura 19 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Linha - 5ª Época de observação (150 dias após sementeira).	41
Figura 20 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Talude - 1ª Época de observação (61 dias após sementeira).	42
Figura 21 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Talude - 2ª Época de observação (81 dias após sementeira).	43
Figura 22 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Talude - 3ª Época de observação (105 dias após sementeira).	44
Figura 23 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Talude - 4ª Época de observação (130 dias após sementeira).	45
Figura 24 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Talude - 5ª Época de observação (150 dias após sementeira).	46
Figura 25 - Evolução da Intensidade Radical (nº de raízes por unidade de área superficial do tubo), para cada modalidade, nos vários níveis de profundidade, na Linha.	51

Figura 26 - Evolução da Intensidade Radical (nº de raízes por unidade de área superficial do tubo), para cada modalidade, nos vários níveis de profundidade, no Talude.	53
Figura 27 - Intensidade Radical, para as várias modalidades, em cada nível de profundidade e por época, na Linha.	55
Figura 28 - Intensidade Radical, para as várias modalidades, em cada nível de profundidade e por época, no Talude.	57
Figura 29 - Calibração do método do mini-rizotrão, considerando todos os valores (Linha e Talude), obtidos nas 4 épocas, para todas as profundidades: A - $IR_n/DR_c$ ; B - $IR_c/DR_c$ .	62
Figura 30 - Calibração do método do mini-rizotrão, para o par de variáveis $IR_c/DR_c$ , considerando todos os valores da <u>Linha</u> , obtidos nas 4 épocas, para todas as profundidades.	63
Figura 31 - Calibração do método do mini-rizotrão, considerando todos os valores (Linha e Talude), obtidos nas 4 épocas, para as profundidades abaixo dos 30 cm: A - $IR_n/DR_c$ ; B - $IR_c/DR_c$ .	64
Figura 32 - Calibração do método do mini-rizotrão, para o par de variáveis $IR_c/DR_c$ , considerando todos os valores da <u>Linha</u> , obtidos nas 4 épocas para as profundidades abaixo dos 30 cm.	65
Figura 33 - Calibração do método do mini-rizotrão, para o par de variáveis $IR_c/DR_c$ , considerando todos os valores do <u>Talude</u> , obtidos nas 4 épocas para as profundidades abaixo dos 30 cm.	66
Figura 34 - Calibração do método do mini-rizotrão, considerando todos os valores (Linha e Talude), obtidos nas 4 épocas, para os 30 cm superficiais do perfil do solo: A - $IR_n/DR_c$ ; B - $IR_c/DR_c$ .	67
Figura 35 - Calibração do método do mini-rizotrão, para o par de variáveis $IR_c/DR_c$ , considerando todos os valores da <u>Linha</u> , obtidos nas 4 épocas, para os 30 cm superficiais do perfil do solo.	68

## **1. JUSTIFICAÇÃO E OBJECTIVOS DO ESTUDO**

Caracterizada climaticamente como de tipo mediterrânico, a maior parte do continente português apresenta um período estival quente e seco, habitualmente entre Maio e Setembro, durante o qual se verifica, normalmente, um nítido défice hídrico, mais acentuado no Sul que no Norte do território. Durante este período, em que para a maior parte das plantas cultivadas decorre a fase mais intensa e importante do seu ciclo vegetativo e, conseqüentemente, de maiores exigências hídricas, torna-se geralmente necessário proceder à rega para compensar o deficiente teor de água no solo.

A água constitui um dos poderosos factores de produção de que a agricultura dispõe mas, por ser escassa e cara, é fundamental saber utilizá-la racionalmente, ou seja, nas épocas e locais mais adequados e com as técnicas mais convenientes, por forma a haver um sincronismo entre as quantidades de água a aplicar e as necessidades das plantas. Assim, a optimização da rega passa pela criação de meios técnicos que permitam ao agricultor maximizar o rendimento resultante de uma eficiente gestão da água, em termos de dotação e de oportunidade de rega, nas diferentes fases do desenvolvimento da cultura. Só deste modo é possível diminuir os riscos associados quer à carência quer ao excesso de água.

Porém, uma melhor utilização dos factores envolvidos na produção agrícola envolve a recolha de toda a informação relativa à forma como a planta responde à aplicação de diferentes técnicas culturais, concretamente da rega.

Cerca de 80% da massa de uma planta em crescimento activo diz respeito à água. É esta água que estabelece a ligação entre a água do solo e a atmosfera, segundo um contínuo vulgarmente referido como SPAC (Solo - Planta - Atmosfera em Contínuo). A ligação da planta ao solo, o qual funciona como um reservatório de água e nutrientes mais ou menos generoso, consoante as suas características físicas, químicas e biológicas, é feita através do sistema radical, enquanto que a parte aérea das plantas se desenvolve numa atmosfera mais ou menos seca (Oliveira, 1994).

Deste modo, as partes aérea e radical da planta estão mutuamente dependentes no seu processo de crescimento. Os cloroplastos, presentes nos órgãos verdes da planta, captam a radiação fotossinteticamente activa e o dióxido de carbono; parte dos produtos resultantes da fotossíntese destinam-se às raízes. Por outro lado as raízes absorvem água e nutrientes, a maior parte dos quais são conduzidos até à parte aérea. A eficiência com a qual são absorvidos a radiação fotossinteticamente activa, o dióxido de carbono, a água e os nutrientes depende não só dos aspectos fisiológicos, mas também dos eco-morfológicos. Geralmente o estudo da parte aérea e sua relação com o ambiente circundante é muito mais avaliado por ser mais fácil e rápido do que o estudo do sistema radical e respectiva rizosfera.

Contudo, o estudo do sistema radical assume grande importância, não só como uma das formas de avaliar os efeitos de certas práticas culturais sobre o solo, mas também na tomada de decisões quanto à operação a executar. No caso da rega, o conhecimento do comportamento do sistema radical da cultura a regar contribui para a definição das dotações e dos intervalos entre regas.

Segundo Oliveira e Portas (1991), a capacidade do sistema radical como órgão de absorção de água e de nutrientes é uma questão de quantidade, qualidade e forma de distribuição das raízes no denominado "ecossistema da superfície do solo".

Em meios heterogêneos como o solo, em que a variação das condições edáficas tanto no tempo como entre diferentes camadas ou horizontes é considerável, a produtividade das plantas pode depender largamente do desenvolvimento de um sistema radical que lhes permita suportar os períodos adversos (Russell, 1977).

O perfil hídrico do solo condiciona a distribuição das raízes e, por conseguinte, a configuração do sistema radical. Neste sentido, a rega é uma prática que se pode considerar como modeladora do sistema radical, ao concentrar a água e consequentemente as raízes numa espessura de solo mais ou menos superficial (Oliveira, 1994). Portas (1973) refere que existem diferenças nítidas entre sistemas radicais crescendo sob um gradiente vertical do potencial hídrico, como em condições de sequeiro, e sistemas radicais crescendo sob gradientes laterais e verticais, tal como pode acontecer nalguns métodos de rega.

O presente estudo insere-se no projecto de investigação designado "Melhoramento da Tecnologia de Rega de Superfície em Regiões Mediterrânicas", integrado no programa STRIDE, desenvolvido pelos Departamentos de Engenharia Rural e de Fitotecnia da Universidade de Évora. Em curso desde 1992, este projecto surgiu na sequência de outros trabalhos de investigação relacionados com o melhoramento das tecnologias de regadio, que têm sido desenvolvidos no Alentejo, nos últimos anos.

Estreitamente relacionados com este trabalho foram efectuados, no âmbito do referido projecto e no mesmo campo de ensaio, outros estudos envolvendo as seguintes componentes: acompanhamento do regime hídrico do solo ao longo do ciclo cultural; tentativa de calibração e validação do modelo EPICTPR para as condições portuguesas; condução da rega com o termómetro de infravermelho. Parte das conclusões aqui apresentadas foram apoiadas por informações obtidas nesses estudos.

No que diz respeito ao seu objectivo geral, pretende-se com este trabalho verificar como se adaptam os modelos de crescimento e de gestão de água das culturas, em particular o EPICTPR, à situação portuguesa: sistemas de agricultura, características pedológicas e condições climáticas. O modelo EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator (Williams et al.,s.d.), modificado para EPIC *phase Temps réel* (EPICTPR) pelo LN.R.A. (Cabelguenne, 1988) tem permitido simular correctamente a evolução da água no perfil do solo e a produção de algumas culturas, em determinadas condições edafo-climáticas, funcionando como auxiliar de decisão de rega e como instrumento de investigação agronómica.

O desempenho do EPICTPR num ambiente muito específico como é aquele onde foi realizado o ensaio, foi comparado com diversas estratégias de rega e consequentemente diferentes graus de satisfação hídrica das culturas, baseadas não só em aspectos tradicionais ou empíricos mas também na determinação da temperatura da folhagem com o termómetro de infravermelho. Para melhor caracterizar a realidade portuguesa foi também avaliada a forma como o modelo se adapta à existência de recursos hídricos limitados.

Quanto aos objectivos específicos, este trabalho visa o estudo da componente radical. Deste modo procedeu-se à observação do sistema radical do milho (*Zea mays* L.), em termos quantitativos, com incidência nos aspectos eco-morfológicos, sujeito às diferentes estratégias de rega estudadas.

Muitos dos métodos utilizados na observação das raízes, bem como na colheita e tratamento de amostras, aplicáveis a ensaios de campo, são excessivamente laboriosos, implicam grande destruição dos locais de amostragem e alguns deles impossibilitam medições repetidas no mesmo local ao longo do período de desenvolvimento da cultura.

Recentemente, o recurso a mini-rizotróes (tubos transparentes que se inserem no solo) tem permitido efectuar medições contínuas e não destrutivas, adequando-se à observação da dinâmica do enraizamento das culturas. Os métodos de observação através dos tubos mini-rizotróo têm a potencialidade de diminuir a morosidade associada ao estudo das raízes, aumentando a facilidade com que esses estudos podem ser conduzidos.

Assim, recorreu-se ao método do mini-rizotróo, com observações feitas através de um endoscópio, ao qual se adaptou uma câmara fotográfica.

Este método permite estudar o sistema radical nos diferentes tipos de solo, sob diversas condições e para os vários níveis de profundidade ao longo do perfil. É indicado para posterior determinação da Densidade Radical, grandeza utilizada no desenvolvimento de modelos que traduzem o uso da água pelas culturas.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização do ensaio

O ensaio decorreu entre Março e Outubro de 1995, numa parcela pertencente ao Departamento de Regadio do Instituto Nacional de Investigação Agrária (I.N.I.A.) com a área de 4 550 m<sup>2</sup>, situada em Alvalade do Sado, Estação de Alvalade (37° 05' N, 8° 24' W, 61 m).

De acordo com os valores normais referentes ao período 1941-70, o clima da região é classificado como Mediterrânico, com Invernos suaves e chuvosos e Verões quentes e secos.

No período de ensaio, os dados climáticos referentes a uma estação meteorológica "standard", situada junto à parcela, são indicados no Quadro 1.

Quadro 1 - Valores médios mensais, referentes à estação meteorológica de Alvalade (I.N.I.A.) (1995).

	Temperatura Média (°C)	Temperatura Média Máxima (°C)	Temperatura Média Mínima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	9.9	16.2	3.5	39.0
Fevereiro	12.1	17.4	6.8	31.0
Março	12.9	20.9	4.9	16.2
Abril	15.5	23.9	7.1	27.9
Mai	19.5	26.5	12.5	17.5
Junho	20.9	28.0	13.8	7.8
Julho	23.4	32.0	14.9	2.5
Agosto	23.0	31.6	14.3	2.9
Setembro	21.1	29.7	12.6	20.5
Outubro	17.1	23.8	10.5	82.6
Novembro	13.6	19.4	7.8	80.5
Dezembro	11.2	16.4	6.1	73.7
			Total	402.1

Situado na várzea do rio Sado, o solo é predominantemente do grupo dos Aluviossolos modernos de textura mediana, sem carbonatos (símbolo A), de acordo com a classificação de Cardoso (1965). Como característica principal destes solos aponta-se a existência de uma toalha freática mais ou menos profunda, sujeita a oscilações no decurso do ano. Contudo, embora estando geralmente humedecido, o perfil não apresenta qualquer efeito acentuado da água estagnada.

Em termos morfológicos, trata-se de um solo incipiente que não possui verdadeiros horizontes genéticos. A única diferenciação pode consistir na acumulação de matéria orgânica à superfície, nunca muito grande uma vez que, face ao bom arejamento da camada superficial, a mineralização se processa rapidamente.

## 2.2. Caracterização do solo do campo de ensaio

A caracterização físico-química do solo da parcela onde se realizou o ensaio baseou-se em amostras de solo colhidas a diferentes profundidades, três por camada, as quais foram analisadas laboratorialmente.

A análise granulométrica do solo indicou os valores apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Dados relativos à análise granulométrica do solo e respectiva classificação textural.

Profundidade (cm)	Areia (%)	Limo (%)	Argila (%)	Classe textural
0-20	54.50	32.00	13.50	Franco-limoso
20-57	50.30	27.10	22.60	Franco
57-73	54.34	20.80	24.86	Franco
73-87	47.94	26.80	25.26	Franco
87-99	45.38	26.88	27.74	Franco
99-117	45.41	30.07	24.52	Franco
117-136	46.88	36.43	26.69	Franco
136-160	43.82	29.46	26.72	Franco-limoso

Para além da textura foram ainda determinados os teores de água do solo (valores volumétricos) para pF 2.5 e pF 4.2, correspondentes à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento, a água utilizável, a densidade aparente e a porosidade (Quadro 3).

**Quadro 3 - Valores de retenção da água no solo, Capacidade de campo, Coeficiente de emurchecimento, Água utilizável, Densidade aparente, Densidade real e Porosidade.**

Profundidade (cm)	Humidade (%peso) pF 2.5	Humidade (%peso) pF 4.2	Humidade volumétrica (%) correspondente a:			Densidade aparente	Densidade real *	Porosidade total calculada (%)
			Capacidade de campo	Coeficiente de emurchecimento	Água utilizável			
0 - 10	20.5	8.5	29.11	12.07	17.04	1.42	2.65	46.4
10 - 20	18.9	8.1	28.92	12.39	16.53	1.53	2.65	42.3
20 - 30	18.6	8.0	28.46	12.24	16.22	1.53	2.65	42.3
30 - 40	18.3	8.7	28.00	13.31	14.69	1.53	2.65	42.3
40 - 50	21.8	10.3	33.35	15.76	17.59	1.53	2.65	42.3
50 - 60	21.6	11.2	34.56	17.92	16.64	1.60	2.65	39.6
60 - 70	21.8	10.7	34.88	17.12	17.76	1.60	2.65	39.6
70 - 80	22.1	11.7	36.47	19.31	17.16	1.65	2.65	37.7

\* Valor recomendado por BAVER *et al*, 1973

Os valores de condutividade hidráulica constam do Quadro 4.

**Quadro 4 - Condutividade hidráulica do solo.**

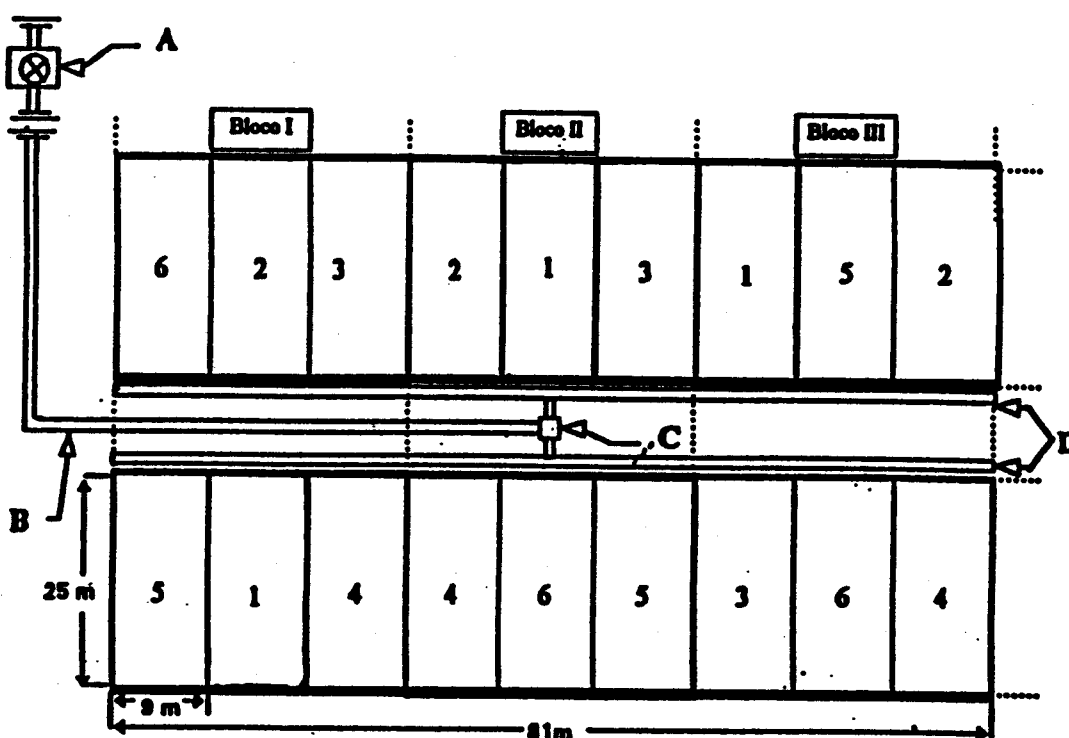
Profundidade (cm)	Condutividade hidráulica (cm/h)
0-30	0.55
30-60	1.82
60-80	0.82
80-120	0.70

Retirado de Santos *et al* (1995).

A caracterização química do solo incidiu apenas sobre análises sumárias, nomeadamente teores de macronutrientes principais, fósforo e potássio e reacção do solo, que serviram de base ao cálculo da adubação.

### 2.3. Delineamento Experimental

O ensaio foi instalado seguindo um delineamento em blocos casualizados (constituindo três repetições), com seis tratamentos correspondentes a seis diferentes estratégias de rega (modalidades principais). Deste modo, a área útil da parcela foi dividida em 18 talhões com 225 m<sup>2</sup> cada um, organizados de acordo com o esquema da Figura 1.



#### Legenda:

- A - bomba.
- B - canal adutor.
- C - cabeça de rega com descarregador triangular.
- D - tubo de PVC próprio para a rega por sulcos
- Tratamento 1 - Estratégia de rega que utiliza o TIV como auxiliar de decisão.
- Tratamento 2 - Estratégia de rega que utiliza o EPICTPR como auxiliar de decisão, com recursos hídricos limitados.
- Tratamento 3 - Estratégia de rega que utiliza o EPICTPR como auxiliar de decisão, com recursos hídricos limitados
- Tratamento 4 - Estratégia de rega semelhante à dos agricultores com recursos hídricos limitados.
- Tratamento 5 - Estratégia de rega semelhante à dos agricultores com recursos hídricos limitados.
- Tratamento 6 - Cultivo de sequeiro

Figura 1 - Esquema de divisão do campo de ensaio, adaptado de Varela (1996).

Para cada tratamento foram consideradas duas submodalidades, referentes a duas localizações distintas do tubos de observação das raízes (mini-rizotróes): na linha de sementeira (Linha) e no início do talude do sulco (Talude), tal como ilustra a Figura 2.

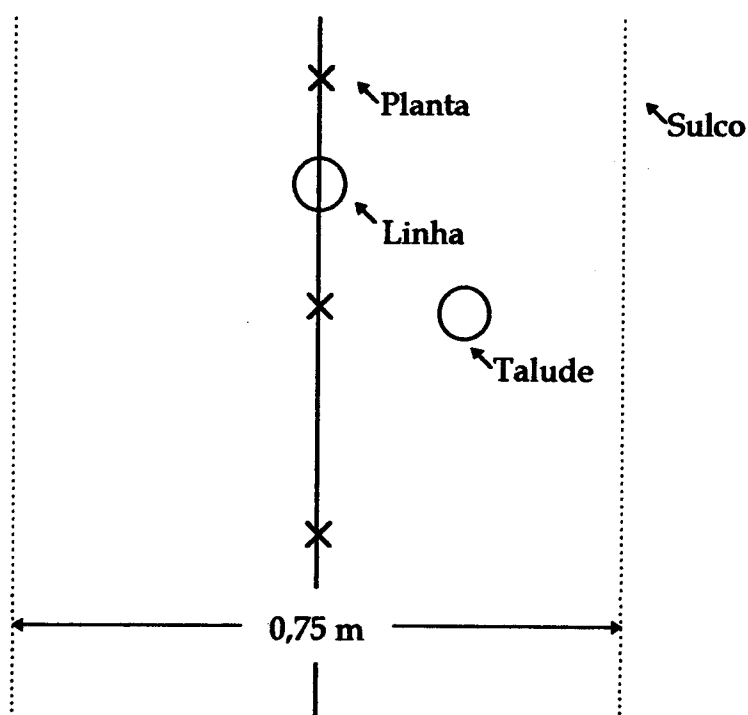


Figura 2 - Representação esquemática dos locais de observação do sistema radical, evidenciando a posição dos mini-rizotróes em relação à planta e ao sulco.

### 2.3.1. Estratégias de Rega

#### Modalidade 1: Termómetro de infravermelho (T.I.V.)

A determinação da temperatura da folhagem com um termómetro de infravermelho portátil é um processo expedito de avaliar o comportamento da cultura em situações de deficiência hídrica. Nestas condições ocorre o encerramento temporário de alguns estomas, diminuindo a transpiração das plantas e, desta forma, aumentando a temperatura da folhagem exposta ao sol.

O T.I.V. indica temperaturas médias, sendo as determinações efectuadas a uma altura de 1 m a 1.5 m acima do topo da folhagem.

A decisão de regar ocorre quando a temperatura da folha iguala a temperatura do ar.

### **Modalidade 2: EPICTPR - Recursos hídricos ilimitados**

O modelo EPICTPR, já referido no ponto 1, permite ao utilizador avaliar as necessidades hídricas da cultura ao longo do seu ciclo vegetativo. É um modelo tipo fotossintético que estima a quantidade de energia luminosa interceptada pela cultura (a partir da radiação e do índice de área foliar) e a sua transformação em biomassa, de acordo com parâmetros específicos da cultura tais como o coeficiente de conversão, as temperaturas mínima e máxima de crescimento e a influência da alimentação hídrica e azotada da cultura (Sinclair e Horie, 1989, citado por Quinones *et al.*, 1990).

O recurso ao programa permite a simulação em intervalos de tempo diários, a partir do fornecimento de dados que relaciona com o desenvolvimento da cultura em estudo. Contudo, não apresenta ao utilizador nem o momento de regar nem a quantidade de água a fornecer.

A oportunidade de rega foi definida a partir de dois indicadores fornecidos pelo modelo: a intensidade da deficiência hídrica e a diminuição do rendimento da cultura. Foi estabelecido que as regas se efectuariam quando a intensidade do *stress* hídrico atingisse o valor de 0.95 e simultaneamente ocorresse uma redução significativa do rendimento final da cultura.

Nesta modalidade os recursos hídricos não constituem factor limitante, devendo efectuar-se a última rega quando a humidade do grão rondar os 35%.

### **Modalidade 3: EPICTPR - Recursos hídricos limitados**

Com esta estratégia pretende-se avaliar o comportamento do modelo no caso em que os recursos hídricos são limitados, situação muito comum no nosso país, concretamente no Alentejo. Deste modo as regas realizaram-se com um atraso de 3 dias em relação às datas de rega da modalidade 2. Assim, induziu-se um "stress" hídrico à cultura que se controlou verificando regularmente o programa.

Determinou-se que o limite máximo de rega disponível seriam 400 mm. Uma vez atingido este valor apenas se deveria regar se a cultura se encontrasse numa fase muito sensível do seu ciclo cultural, concretamente na pré-floração e na floração.

#### **Modalidade 4: Agricultor - Recursos hídricos ilimitados**

O objectivo desta modalidade foi simular o procedimento dos agricultores. Adoptou-se o valor de 50 mm para a dotação de rega. Quanto ao intervalo de rega ficou estabelecido que seria de 7 dias, período de tempo considerado adequado quer para compensar a evapotranspiração máxima, quer para reproduzir o que vulgarmente se pratica na região.

As datas de início e de conclusão da rega foram idênticas às da modalidade 2; a quantidade de água disponível para a rega também não foi limitada.

A calendarização das operações culturais, concretamente das regas, foi introduzida em ficheiros de itinerários técnicos do EPICTPR, criados especificamente para esta modalidade, possibilitando a simulação dos diferentes parâmetros culturais estudados.

#### **Modalidade 5: Agricultor - Recursos hídricos limitados**

Neste caso o intuito foi reproduzir a situação de escassez dos recursos hídricos com a qual frequentemente se deparam os agricultores da região que são assim impedidos de fornecer à planta a quantidade de água necessária para satisfazer por completo as suas exigências.

Na prática manteve-se a dotação fixa de 50 mm por rega, mas alargou-se o intervalo de rega para 10 dias. Tal como na modalidade 3 tomou-se como limite máximo de água disponível para a rega o valor de 400 mm, evitando que o *stress* hídrico fosse muito acentuado na pré-floração e na floração.

Também nesta modalidade se procedeu à simulação pelo EPICTPR seguindo o procedimento descrito para a modalidade 4.

## **Modalidade 6: Sequeiro**

Esta modalidade testemunha visou evidenciar a dependência da cultura em relação à rega nas condições climáticas características da região. Ao longo do ciclo vegetativo os respectivos talhões apenas foram submetidos à rega geral que se efectuou para assegurar o estabelecimento da cultura.

Recorreu-se ao programa EPICTPR, criando um ficheiro com um itinerário técnico onde se inseriram as operações culturais realizadas nesta modalidade.

### **2.4. Instalação do ensaio**

#### **2.4.1. Operações culturais**

A viabilização do ensaio foi possível mediante a realização de um conjunto de operações culturais que assegurassem o estabelecimento da cultura e o seu eficaz desenvolvimento.

A preparação do terreno iniciou-se no dia 27 de Março, com uma gradagem com grade de discos, para incorporar no solo os resíduos da cultura anterior. No dia 2 de Maio o terreno foi lavrado, permitindo destruir algumas infestantes bem como melhorar as condições de circulação da água e de arejamento do solo, seguindo-se uma gradagem para uniformizar a superfície do solo.

O cálculo da adubação de fundo baseou-se nos valores de  $P_2O_5$  e  $K_2O$  obtidos por análise química do solo (referida em 2.2.), respectivamente: 69 ppm e 120 ppm. Quanto ao pH, as determinações indicaram carácter neutro do solo. A adubação realizou-se no dia 4 de Maio, tendo-se utilizado um adubo ternário: 7-21-21 (886 Kg/ha), distribuído a lanço e incorporado no solo através de uma gradagem seguida de uma passagem com a fresa, a fim de regularizar a superfície do terreno.

No mesmo dia procedeu-se a outra gradagem com vista à aplicação de um herbicida pré-sementeira (Primextra - 6 l/ha) e efectuou-se a sementeira do milho, variedade LG 26- 88, índice FAO 680 (ciclo médio) com uma densidade aproximada de 81 000 plantas/ ha.



A adubação de cobertura foi feita em 17 de Junho, tendo-se aplicado um adubo nitroamoniaco 33,5% N (300 Kg/ha).

#### 2.4.2. Piquetagem do campo

A piquetagem do campo decorreu no dia 22 de Maio. Os 18 talhões foram delimitados através da colocação das estacas nas respectivas cabeceiras. Do mesmo modo foram demarcados os blocos. Todas as estacas foram devidamente assinaladas permitindo a rápida identificação do talhão/bloco.

Cada talhão, com 12 linhas de cultura, das quais duas foram consideradas como bordadura, escolheram-se ao acaso e convenientemente identificados os diferentes locais de recolha de plantas para a análise química foliar, para a medição da altura da cultura, da biomassa e do índice de área foliar e para a avaliação da produção final.

Os mini-rizotrófos foram instalados na zona central de cada talhão, na 5ª ou na 6ª linhas. Nestas mesmas linhas foram colocadas as estações de avaliação do perfil hídrico do solo por leitura com sonda de neutrões e medições da humidade. Para a calibração do método, 6 mini-rizotrófos foram também instalados na 4ª e na 7ª linhas, apenas numa das modalidades estudada. Na calibração feita na última época de observação utilizaram-se 2 dos tubos instalados para o acompanhamento do enraizamento.

#### 2.4.3. Fornecimento de água à cultura

O fornecimento de água à cultura foi feito através do método de rega por sulcos.

No dia 17/5/95 foram abertos os sulcos, com um espaçamento de 75 cm, tendo-se utilizado um derregador.

O sistema de rega era composto por um tubo de PVC instalado ao longo da cabeceira dos sulcos. No alinhamento de cada sulco o tubo possuía um orifício permitindo a saída de água. Os orifícios dispunham de uma janela que permitia o seu encerramento quando não interessava regar os respectivos talhões. O tubo era

alimentado através de uma tubagem proveniente do local de armazenamento da água para o campo de ensaio. Na ligação entre os dois tubos foi montada uma caixa de rega com descarregador triangular, possibilitando a determinação do caudal de alimentação dos sulcos. Os talhões localizados dos lados esquerdo e direito relativamente ao tubo de PVC não eram regados em simultâneo.

De modo a fazer face ao baixo teor de água do solo efectuaram-se duas regas gerais; a primeira não foi controlada, decorreu em Abril e destinou-se a favorecer a emergência de infestantes que foram posteriormente enterradas pela lavoura seguinte; a segunda realizou-se nos dias 20 e 21 de Julho.

Os valores referentes à quantidade de água aplicada em cada rega, para as várias modalidades, constam do Quadro 5.

A modalidade 4 (agricultor com recursos hídricos ilimitados) foi a que consumiu maior quantidade de água - 630 mm, estando este valor próximo das dotações normalmente aplicadas pelos agricultores da região.

Quadro 5 - Datas de realização das regas e dotações aplicadas em cada modalidade

Rega	Termómetro de Infravermelho		EPICTPR recursos hídricos ilimitados		EPICTPR recursos hídricos limitados		Agricultor recursos hídricos ilimitados		Agricultor recursos hídricos limitados		Sequeiro	
	Data	Dotação (mm)	Data	Dotação (mm)	Data	Dotação (mm)	Data	Dotação (mm)	Data	Dotação (mm)	Data	Dotação (mm)
1	21/6	58	21/6	55	21/6	64	20/6	80	20/6	72	20/6	72
2	30/6	50	30/6	50	4/7	50	29/6	50	4/7	50		
3	12/7	50	11/7	50	14/7	50	6/7	50	14/7	50		
4	20/7	50	24/7	50	27/7	50	13/7	50	24/7	50		
5	28/7	50	31/7	50	3/8	50	20/7	50	3/8	50		
6	4/8	50	8/8	50	11/8	50	27/7	50	14/8	50		
7	14/8	50	16/8	50	18/8	50	3/8	50	24/8	50		
8	21/8	50	24/8	50	28/8	50	11/8	50	4/9	50		
9	29/8	50	1/9	50			18/8	50				
10	7/9	50	11/9	50			25/8	50				
11							1/9	50				
12							8/9	50				
<b>Total</b>		<b>508</b>		<b>505</b>		<b>414</b>		<b>630</b>		<b>422</b>		<b>72</b>

Por comparação entre a referida modalidade e os calendários e dotações de rega estabelecidos quer através das determinações da temperatura da folhagem com o T.I.V. (modalidade 1), quer pelo EPICTPR (modalidade 2), verifica-se que estes últimos permitiram uma poupança de 20% na quantidade de água utilizada, tendo sido efectuadas menos duas regas.

Quanto às modalidades com "stress" hídrico induzido (3 e 5), foi pouco ultrapassado, em termos de fornecimento de água à cultura, o limite imposto de 400 mm. Em regime de sequeiro (modalidade 6) apenas foram aplicados 72 mm de água numa rega ocorrida no início do ciclo cultural (20/6/95).

#### 2.4.4. Instalação dos mini-rizotrões

Recorreu-se ao método do mini-rizotrão para comparar o efeito das várias estratégias de rega e consequentemente de diversos graus de satisfação hídrica, no enraizamento das plantas de milho.

Foram usados 42 tubos de acrílico (mini-rizotrões) de secção circular, com 150 cm de comprimento, 6 cm de diâmetro externo e 5.4 cm de diâmetro interno.

Em cada modalidade criou-se uma estação de observação na 5ª ou na 6ª linha de cada talhão, como foi referido no ponto 2.4.2., onde foram instalados dois tubos, um localizado na linha de sementeira, entre duas plantas, o outro no camalhão junto ao início do talude do sulco, totalizando 36 tubos assim distribuídos pelos 3 blocos (18 talhões).

Os restantes 6 tubos (colocados na 4ª e na 7ª linhas tal como foi referido em 2.3.2) destinaram-se à calibração do método em estudo ao longo do período de observação. Com este objectivo, no talhão correspondente à modalidade 2 do bloco I foram criadas mais 3 estações de observação destinadas a correlacionar as observações efectuadas com o mini-rizotrão e os valores da Densidade Radical medidos em amostras de solo + raízes.

Quando da abertura dos buracos para a colocação dos tubos de acrílico dois factores foram tidos em conta (Maertens, 1987):

- O grau de humidade do solo, uma vez que tanto o elevado como o baixo teor de água contribuem para a ocorrência de situações desfavoráveis às posteriores observações; no primeiro caso ao abrir-se o buraco a pressão exercida pela sonda junto às paredes do mesmo leva à compactação do solo; no segundo caso a penetração da sonda no solo é bastante difícil impossibilitando a colocação dos tubos.

- O estado de desenvolvimento da cultura, na medida em que a abertura dos buracos poderá produzir alguma destruição das raízes do milho, pelo que este dever-se-á encontrar num estado de desenvolvimento inicial, mas em que já não seja minimamente afectado.

No presente estudo os tubos foram colocados na linha de cultura quando as plantas se encontravam no estado de 3-4 folhas. Os tubos destinados à zona do talude apenas foram instalados após terem sido abertos os sulcos, altura em que as plantas se encontravam no estágio de 7-8 folhas.

Os tubos, colocados paralelamente à linha, nos locais já referidos, foram inseridos no terreno com um ângulo de 30° em relação à vertical, de forma a reduzir a probabilidade de ocorrência de crescimento preferencial das raízes na interface solo-tubo, por extensas áreas, após interceptarem o tubo, o que é frequente acontecer quando os tubos são inseridos na vertical (Upchurch e Ritchie, 1983). Para este efeito utilizou-se um suporte metálico onde a sonda foi apoiada de forma a permitir a abertura dos buracos para a colocação dos tubos. Para assegurar um bom contacto solo-tubo os buracos abertos possuíam um diâmetro ligeiramente inferior ao do tubo. Posteriormente à abertura, as paredes dos buracos foram passadas com um escovilhão que, criando rugosidade, permitiu assegurar um melhor contacto. A colocação dos tubos foi efectuada manualmente e de forma cuidadosa a fim de evitar danos da respectiva superfície exterior. Na extremidade superior de cada tubo foi colocada uma tampa que consistia em 11 cm de tubo PVC revestidos com polietileno preto. Este procedimento destinou-se a evitar a entrada de água, pedras ou qualquer material estranho e ao mesmo tempo impedir a penetração da luz. Para melhor obstar a infiltração da água na zona de contacto solo-tubo a área da superfície do solo em redor do tubo foi protegida com uma espécie de gola.

#### 2.4.5. Instalação e calibração do equipamento para estudo das condições hídricas do perfil do solo

O acompanhamento das condições hídricas do solo ao longo do ciclo da cultura foi feito no âmbito de outros trabalhos desenvolvidos no mesmo ensaio experimental. O modelo EPICTPR calcula diariamente a evolução das características físicas do solo e faz o seu balanço hídrico, de modo que a medição regular do respectivo teor de água permite comparar o grau de ajustamento do modelo com a realidade, possibilitando a modificação do valor das variáveis de acordo com as medições realizadas.

Para determinar o teor de água no solo utilizou-se a sonda de neutrões. O medidor neutrónico foi especialmente concebido para a medição *in situ* da humidade volumétrica do solo, bem como a sua variação no tempo e no espaço. Deste modo obtem-se basicamente informação relativa à distribuição do teor de água de acordo com a profundidade e com o tempo, num determinado local.

A utilização da sonda de neutrões pressupõe a sua calibração, ou seja, o estabelecimento de uma relação entre as leituras do aparelho e a humidade volumétrica do solo, relação esta que depende em simultâneo das características do solo, do aparelho e do respectivo tubo de acesso. Neste caso, para a calibração no campo fizeram-se diversas leituras com a sonda, procedendo-se à recolha imediata de amostras de solo (no mesmo local e para a mesma profundidade). Em laboratório determinou-se o teor de água das referidas amostras. As mesmas foram pesadas, submetidas a secagem em estufa a 105° C durante aproximadamente 24 horas e novamente pesadas para conhecer o seu peso seco. Foi também necessário determinar a leitura da sonda na água de modo a obter a razão leitura no solo/leitura na água. Por regressão entre as leituras da sonda e a humidade volumétrica obteve-se a equação de calibração:

$$H = 2.45377 + 51.88934 \times Ls/La \quad (\text{equação n}^\circ 1)$$

em que:

H = Humidade (% volume)

Ls = Leitura da sonda no solo

La = Leitura da sonda na água

Os tubos de acesso à sonda, em PVC com 5 cm de diâmetro externo e 0.1 cm de espessura, foram instalados próximo das estações de observação do sistema radical, concretamente na 5ª ou na 6ª linhas de cada talhão (tal como foi referido em 2.4.2.). Os tubos eram fechados na extremidade inferior e munidos de uma tampa amovível na extremidade superior para evitar a entrada de água e corpos estranhos.

Os valores do teor de água nas duas primeiras camadas de solo (0-10 cm, 10-20 cm) foram obtidos a partir de amostras para determinação da humidade gravimétrica, uma vez que, próximo da superfície, os resultados obtidos nas determinações com a sonda raramente são satisfatórios, devido à esfera de leitura do aparelho ultrapassar a espessura do solo.

## 2.5. Observações efectuadas

### 2.5.1. Na cultura

#### 2.5.1.1. No sistema radical

As observações do sistema radical do milho (*Zea mays* L.) através da técnica do mini-rizotróo foram efectuadas em 5 épocas (61, 81, 105, 130 e 150 dias após sementeira), correspondentes aos estádios de desenvolvimento: 9 folhas, floração, fase leitosa e maturação fisiológica.

Para fotografar as raízes que intersectavam o tubo de acrílico utilizou-se um endoscópio ligado a uma câmara fotográfica por um adaptador (Figura 3). Uma fonte de luz alimentada por um gerador de corrente eléctrica permitiu iluminar o campo de visão do endoscópio (Figura 4). Os rolos fotográficos utilizados foram do tipo 400 ASA.



Figura 3 - Câmera fotográfica adaptada ao endoscópio

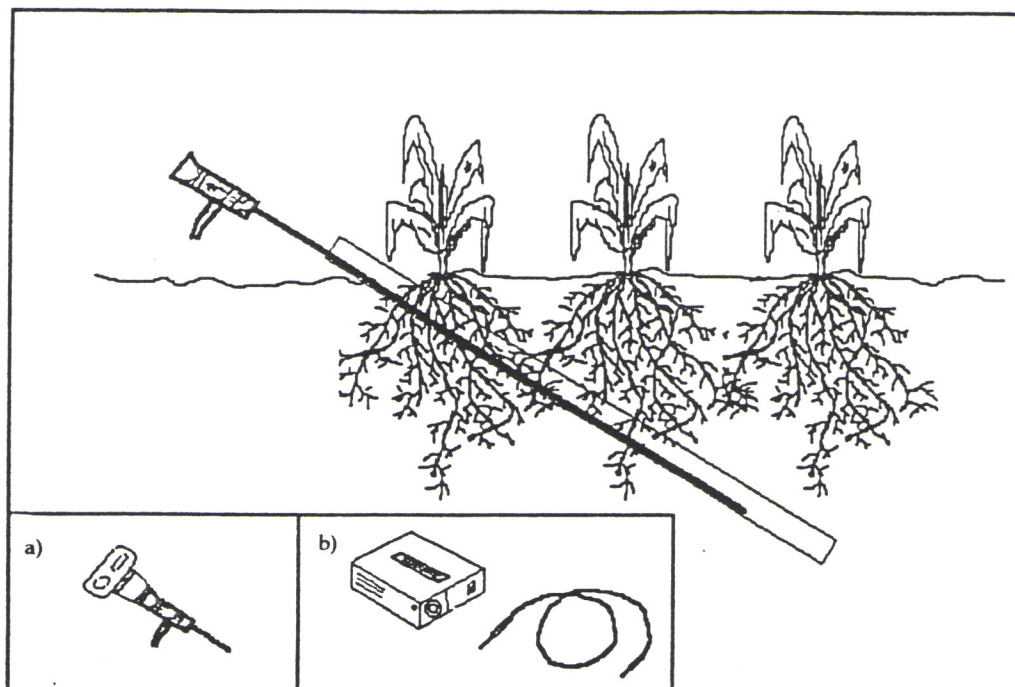


Figura 4 - Mini-rizotrófia, endoscópio, câmara fotográfica e adaptador (a) e fonte de luz (b).

Para que no interior do mini-rizotrão o endoscópio estivesse na posição correcta foi-lhe adaptado um tubo guia de PVC com 5.1 cm de diâmetro externo e 0.1 cm de espessura.

O campo de visão a partir do endoscópio foi determinado tendo em conta as características que se seguem:

- mini-rizotrão - diâmetro = 60 mm; espessura = 4 mm
- endoscópio - diâmetro = 8 mm; ângulo de visão -  $\alpha = 55^\circ$
- tubo guia - espessura = 1 mm

Com estes dados determinou-se:

- A distância da ocular do endoscópio à zona a fotografar:

$$60 - 4 - 8 - 1 = 47 \text{ mm}$$

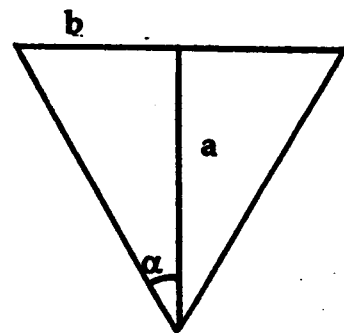
- O campo de visão:

$$\alpha = 27,50$$

$$\text{tg } \alpha = b/a$$

$$b = 0.52 \times 47 = 24.466 \text{ mm}$$

$$\text{Campo de visão} = 2b = 48.933 \text{ mm}$$



Estando inseridos no solo 127 cm do tubo de acrílico, com um ângulo de  $30^\circ$  em relação à vertical (como foi referido no ponto 2.4.4) seriam necessárias 26 fotografias para o seu acompanhamento na totalidade, número excessivamente grande uma vez que tornaria o trabalho bastante dispendioso em termos económicos. Deste modo optou-se por tirar apenas 11 fotografias, cada uma das quais centrada em pontos distantes 11.5 cm entre si, ao longo de toda a superfície de tubo enterrada no solo (Figura 5). Este número proporcionou a correspondência directa com as amostras de solo + raiz colhidas para efeitos de calibração do método em estudo, uma vez que a sonda permite efectuar a colheita de amostras com incremento de 10 cm na vertical (correspondentes a 11.5 cm com inclinação de  $30^\circ$ ). A área de cada fotografia foi de  $1880.51 \text{ mm}^2 (\pi \times 24,466^2)$ .



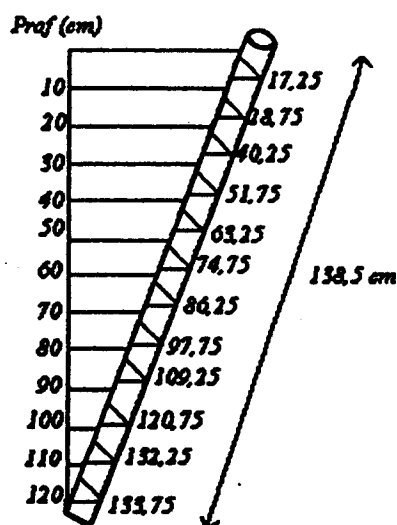


Figura 5 - Localização de cada fotografia ao longo do tubo.

O tubo guia foi marcado de modo a permitir estabelecer a profundidade correcta de posicionamento do endoscópio; as marcações assinalavam o ponto central de cada fotografia, sendo a distância em relação à boca do tubo de 17,25 cm no caso da primeira marca e de 133,75 para a última.

Após a colocação do endoscópio no interior do tubo, na posição desejada, efectuou-se a sua focagem através do regulador de focagem, de forma a que as raízes do milho fossem observadas com nitidez. O endoscópio equipado com a câmara fotográfica, o adaptador e o cabo de fibra óptica que conduzia a luz, permitindo fotografar as raízes.

A câmara fotográfica encontrava-se regulada para uma velocidade de exposição de 1/60 segundos e um valor de compensação de - 1 (valores indicados pelo manual da câmara face às características do endoscópio utilizado).

Para cada rolo fez-se a identificação das 36 fotografias, em termos de época, bloco, modalidade, submodalidade e profundidade, à medida que iam sendo tiradas. As películas foram reveladas em diapositivos e enquadradas em caixilhos de 5 x 5 cm.

Posteriormente procedeu-se à marcação e ordenação dos slides.

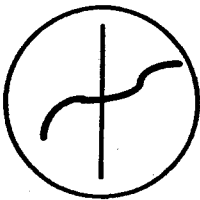
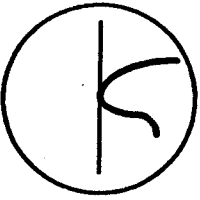
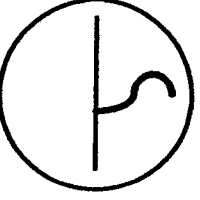
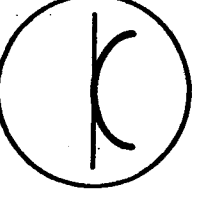
Os parâmetros utilizados neste trabalho para avaliar o comportamento do sistema radical do milho através do mini-rizotráo foram a Intensidade Radical, em termos de número de raízes por unidade de superfície do tubo ( $IR_n$ ) -  $N^\circ/cm^2$  e em termos de comprimento de raiz por unidade de superfície do tubo ( $IR_c$ ) -  $cm/cm^2$ .

Esta última determinação foi feita apenas nas observações destinadas à calibração do método.

Na contagem do número de raízes observadas na parede do mini-rizotróo utilizou-se um projector de slides de écran incorporado. Os valores obtidos foram divididos pela área fotografada ( 1880. 51 mm<sup>2</sup>), determinando-se a  $IR_n$ .

Importa referir que nalgumas situações, nas quais se observava um reduzido número de raízes (inferior a 12), se procedeu à contagem directa, dispensando a respectiva fotografia, por forma a evitar gastos excessivos.

Tal como foi mencionado, nas observações destinadas à calibração do método, que ocorreram em todas as épocas à excepção da 3<sup>a</sup>, para além da determinação da  $IR_n$  procedeu-se ao cálculo da  $IR_c$ . Para este efeito adaptou-se uma quadrícula de 0.5 cm de malha ao écran do projector, permitindo a contagem do número de intersecções que as raízes faziam com as linhas horizontais e verticais da quadrícula. Nesta contagem foi tida em conta a forma como a raiz se dispunha ao longo das linhas de acordo com o seguinte critério:

		nº de intersecções
	—quando a raiz atravessa a linha	1
	—quando a raiz toca a linha, curvando	1
	—quando a raiz toca a linha, terminando nela	1
	—quando a raiz toca a linha e cresce ao longo desta	2

O comprimento radical foi estimado através do método das intersecções (Tennant, 1975), recorrendo-se à equação:

$$R = (11/14) \times N \times A \quad (\text{equação nº 2})$$

onde:

R = comprimento radical (cm)

N = número de intersecções que as raízes fazem com as linhas horizontais e verticais da quadrícula.

A = malha da quadrícula.

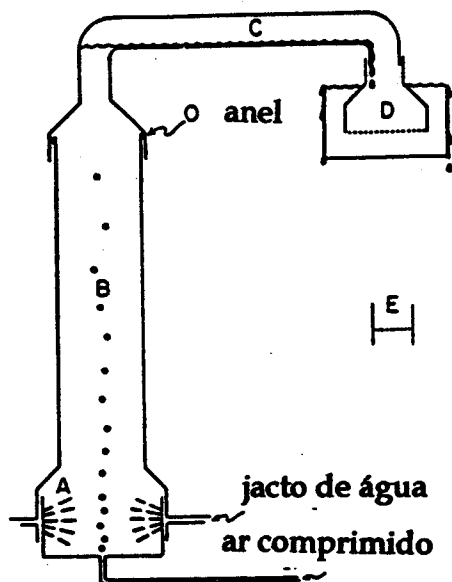
A partir do quociente entre o comprimento total das raízes (R) e a área da superfície do tubo fotografada (1880. 51 mm<sup>2</sup>), obteve-se o comprimento por unidade de superfície (IR<sub>c</sub>), expresso em cm / cm<sup>2</sup>.

Nas 4 épocas, escolhidas para se proceder à calibração do método do mini-rizotrão, procedeu-se à colheita de amostras de solo + raízes, em apenas uma das modalidades (2) e nos locais de amostragem referidos em 2.4.2.. Em cada época a colheita de amostras foi feita em ambos os lados dos mini-rizotrões, com intervalos de 10 cm e até aos 90 cm de profundidade, num total de 36 amostras (18 na linha e 18 na zona do camalhão, junto ao início do sulco).

As amostras de solo + raízes foram obtidas recorrendo a uma sonda manual constituída por um tubo cilíndrico com 10 cm de altura útil e 8 cm de diâmetro interno e cuja extremidade inferior foi serrilhada de forma a facilitar a sua entrada no solo, através de um movimento de rotação.

As amostras foram posteriormente colocadas em sacos de plástico, devidamente etiquetadas e conservadas em local fresco, durante um ou dois dias. No tratamento das amostras para separação das raízes começou-se por espalhar a amostra num tabuleiro de alumínio, efectuando-se imediatamente uma escolha grosseira que permitiu a separação das raízes mais grossas e a eliminação de detritos (pedras, matéria orgânica morta e outros corpos estranhos).

Seguidamente procedeu-se à lavagem mecânica das amostras, sendo cada amostra subdividida em 4. O equipamento de lavagem de raízes utilizado é um sistema de elutriação hidropneumático desenvolvido por Smucker *et al.* (1982), cuja representação esquemática se apresenta na Figura 6.



**Legenda:**

- A - Câmara de lavagem com alta energia cinética
- B - Câmara de elutriação
- C - Tubo de transferência
- D - Crivo primário de baixa energia cinética
- E - Crivo secundário

**Figura 6 - Representação esquemática do sistema de elutriação hidropneumático para separar as raízes do solo.**

Este equipamento é constituído por 8 câmaras de elutriação (Figura 7, A e B). O tempo de lavagem foi aproximadamente de 10 minutos (dependendo do número de raízes presentes e do tipo de solo). Uma vez lavadas e separadas, as raízes foram acondicionadas em recipientes de plástico com uma solução de álcool etílico a 20% e colocadas no frigorífico a uma temperatura de 10° C, a fim de serem preservadas até posterior utilização.

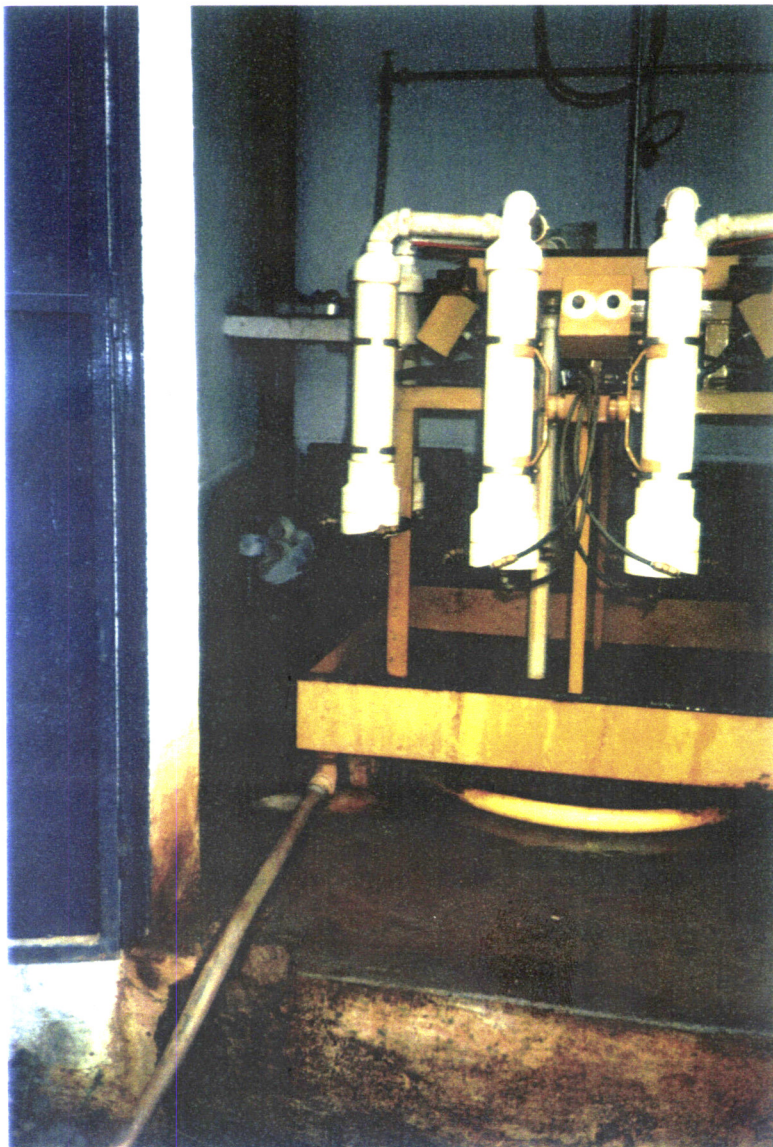
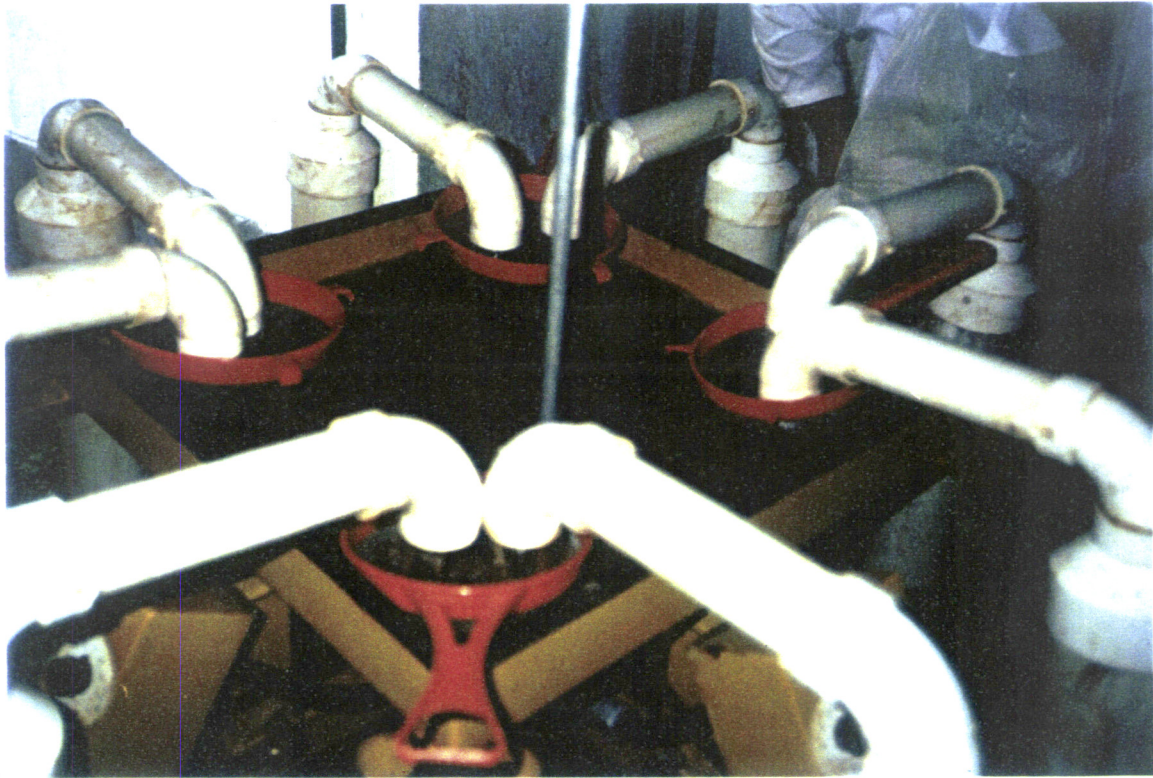


Figura 7  
Equipamento de lavagem:  
A - Pormenor do sistema  
em funcionamento;  
B - Aspecto geral.

Para a determinação do comprimento radical total por amostra foi utilizado um “scanner” (Rowse e Philips, 1974; citado por Böhm, 1979), o qual utiliza o princípio do método das intersecções das linhas. O aparelho é constituído por um prato circular de vidro, animado de movimento giratório, no qual se espalham as raízes contidas na amostra, de modo a minimizar os erros das sobreposições. Localizados inferiormente e superiormente ao tabuleiro encontram-se, respectivamente, um microscópio binocular e um dispositivo fotoeléctrico. Estes dois componentes formam um braço que percorre radialmente o tabuleiro. À medida que o prato se desloca, a luz emitida pelo dispositivo fotoeléctrico “atravessa” o prato de vidro sendo recebida pelo microscópio (Figura 8). Cada intersecção da raiz com a luz emitida interrompe a emissão de luz. Estas interrupções são registadas e convertidas electronicamente, segundo uma escala apropriada, sendo o valor visualizado num monitor. Quando o braço termina o percurso ao longo do prato, no sentido do centro para a periferia, o dispositivo desliga automaticamente o movimento giratório. O comprimento total das raízes contidas na amostra é lido no monitor.



Figura 8 - Equipamento de medição do comprimento radical.

A Densidade Radical ( $DR_c$ ) -  $\text{cm} / \text{cm}^3$  foi obtida a partir do quociente entre o comprimento radical (R) e o volume do solo correspondente (V); neste caso  $V = 502.7 \text{ cm}^3$ .

#### 2.5.1.2. Na parte aérea

No âmbito de outros trabalhos, inseridos no mesmo projecto, efectuou-se, ao longo do ciclo cultural, a recolha de dados referentes ao crescimento e desenvolvimento da cultura e à produção. Relativamente aos primeiros foram determinados a altura da cultura, a área foliar, a biomassa aérea total, a evolução da composição química foliar, a população e o estado fenológico da cultura. Quanto à produção, os parâmetros analisados foram as produções de grão e de matéria seca aérea total e o índice de colheita.

Estes dados permitiram acompanhar o desenvolvimento da cultura sujeita a diferentes regimes hídricos, assim como comparar os resultados estimados através do modelo e os obtidos.

Aos locais de amostragem, aleatoriamente estabelecidos, faz-se referência no ponto 2.4.2 (Piquetagem do campo).

Não sendo o objectivo deste trabalho, consideraram-se apenas as características medidas no final do ciclo da cultura nomeadamente a biomassa aérea total, a produção de grão e a matéria seca aérea total a fim de se dar uma ideia sobre o comportamento da cultura sujeita aos diferentes regimes hídricos estudados. A evolução do desenvolvimento da cultura (estádios fenológicos) consta do Anexo A.

A biomassa aérea total, expressa em toneladas de matéria seca por hectare, foi determinada por pesagem da matéria seca da amostra de 8 plantas. As plantas recolhidas foram secas em estufa a  $80^\circ \text{C}$  durante 3 ou 4 dias, por forma a atingirem peso constante.

No que se refere à produção de grão por unidade de superfície tomou-se para cada modalidade o valor médio das 3 repetições. Uma vez que o modelo apresenta os valores da produção de grão com humidade de 0%, foi necessário calcular a humidade

do grão; o respectivo peso seco foi determinado por pesagem, precedida de secagem em estufa a 80° C durante 48 horas, de modo a obter um peso constante.

Do mesmo modo foi possível estimar a matéria seca aérea total. O índice de colheita foi obtido pelo quociente entre a produção de grão e a matéria seca total.

### 2.5.2. No solo: condições hídricas ao longo do ensaio

A avaliação do teor de água do solo foi feita, para cada rega, em dois momentos: 24 horas antes e 48 horas depois da rega.

Efectuaram-se três leituras por profundidade estudada, em intervalos de 10 cm de espessura no perfil do solo até à profundidade de 140 cm, cujo valor médio foi utilizado para determinar o teor volumétrico de água do solo recorrendo à equação da curva de calibração (equação nº 1). Os valores referentes às duas primeiras camadas foram obtidos pelo método gravimétrico, sendo os restantes obtidos com o recurso a uma sonda de neutrões, como foi referido no ponto 2.4.5.

## 2.6. Análise estatística

Tendo como ponto de partida a técnica de amostragem por talhão, os dados relativos à Intensidade Radical ( $IR_n$ ), observados em 11 pontos ao longo do minirizotróo (desde a superfície até aos 110 cm, com incrementos de 10 cm) e das três repetições, permitiram estimar as equações de regressão de acordo com cada época, modalidade e submodalidade.

As curvas foram sujeitas a um tratamento estatístico, baseado no trabalho de Mexia (1987), onde os valores dos coeficientes de determinação foram aplicados de forma idêntica. Também Bock (1975) e Morrison (1976) analisam as curvas de crescimento e as curvas de dados repetidos, utilizando os factores de ensaio como uma análise polinomial multivariada, com restrições.



Deste modo analisou-se a significância dos efeitos linear, quadrático e cúbico em relação às épocas e às modalidades, tanto para a Linha como para o Talude (submodalidades).

Para os dois locais, Linha e Talude, foram definidos modelos de enraizamento da cultura, através de equações de regressão múltipla. Nestas, a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) é relacionada com as variáveis independentes: profundidade ( $p$ ), dotações de água ( $a$ ) e dias após sementeira ( $d$ ).

Para a calibração do método do mini-rizotróo, determinaram-se os coeficientes de correlação linear entre os dois pares de variáveis seguintes:

1. A Intensidade Radical, expressa em termos de  $IR_n$  ( $N^\circ / cm^2$ ) e a Densidade Radical,  $DR_c$  ( $cm/cm^3$ ).
2. A Intensidade Radical, expressa em termos de  $IR_c$  ( $cm/cm^2$ ) e a Densidade Radical,  $DR_c$  ( $cm/cm^3$ ).

A significância dos coeficientes de correlação calculados ( $r$ ) foi testada por comparação com os valores tabelados para  $(n - 2)$  graus de liberdade, sendo  $n$  o número de observações efectuadas.

### 3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1. Caracterização das condições hídricas do solo

As Figuras 9 a 14 mostram a evolução da humidade do solo, a diferentes profundidades, observada para as seis modalidades em estudo.

É conveniente referir que nem sempre foi possível cumprir os intervalos anteriormente estabelecidos para controlo da humidade do solo, pelo que e principalmente em relação aos valores obtidos após a rega, estes terão ficado aquém dos realmente alcançados. Por um lado as dificuldades na obtenção de água para regar, no período de ensaio e por outro as condições climáticas verificadas com evapotranspiração da ordem dos 6-8 mm/dia, contribuíram para agravar todo o processo de avaliação da água no solo.

No entanto, tendo em conta os valores obtidos e considerando que todas as modalidades estiveram sujeitas aos mesmos condicionalismos, faz-se a sua análise.

Em relação às modalidades regadas (1 a 5), de um modo geral verificou-se que a água de rega não ultrapassou os 60 cm de profundidade (só ocasionalmente alcançou níveis mais profundos). Há que destacar a modalidade 4, uma vez que o efeito das regas se fez sentir nas camadas mais profundas do perfil, embora já bastante atenuado.

Os valores da humidade volumétrica correspondentes à capacidade de campo (pF 2.5) e ao coeficiente de emurchecimento (pF 4.2), apresentados no Quadro 3 facilitam a interpretação das condições hídricas verificadas ao longo do ensaio, em termos de disponibilidade de água para as plantas, nomeadamente a definição dos períodos de deficiência hídrica.

Nas modalidades 1, 2, 3 e 5 observaram-se valores de humidade volumétrica do solo inferiores aos correspondentes a pF 4.2 (cerca de 12%) nas duas camadas superficiais, para os meses de Julho e Agosto. Já na modalidade 4 o teor de água do solo nunca foi inferior àquele valor. Quanto à modalidade de sequeiro (6) observou-se que a partir da segunda quinzena de Julho as três camadas mais superficiais do solo apresentaram teores de água inferiores ou próximos dos correspondentes a pF 4.2.

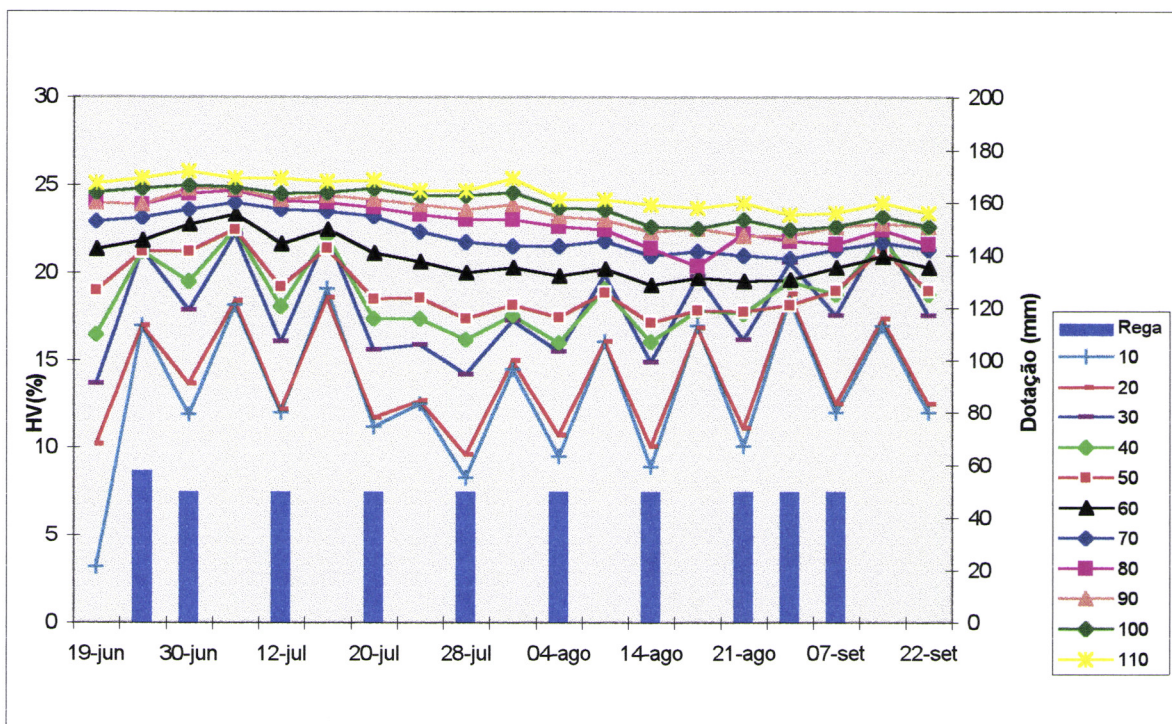


Figura 9 - Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 1

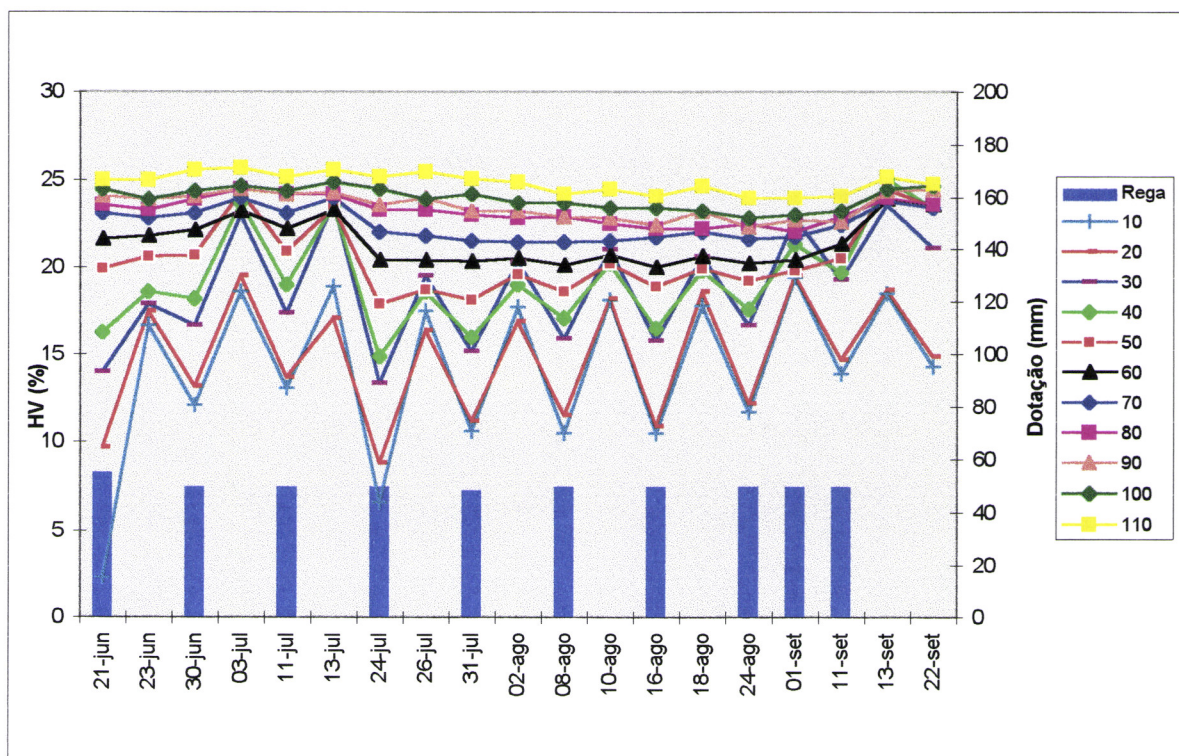


Figura 10 - Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 2

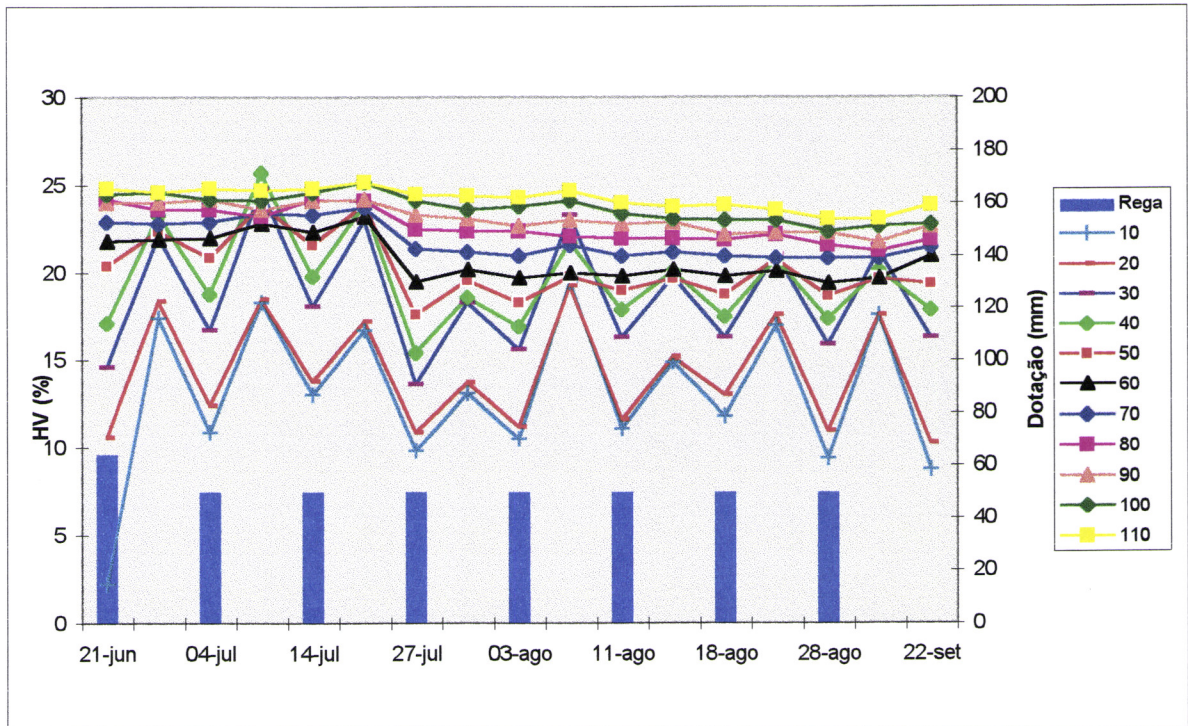


Figura 11 - Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 3

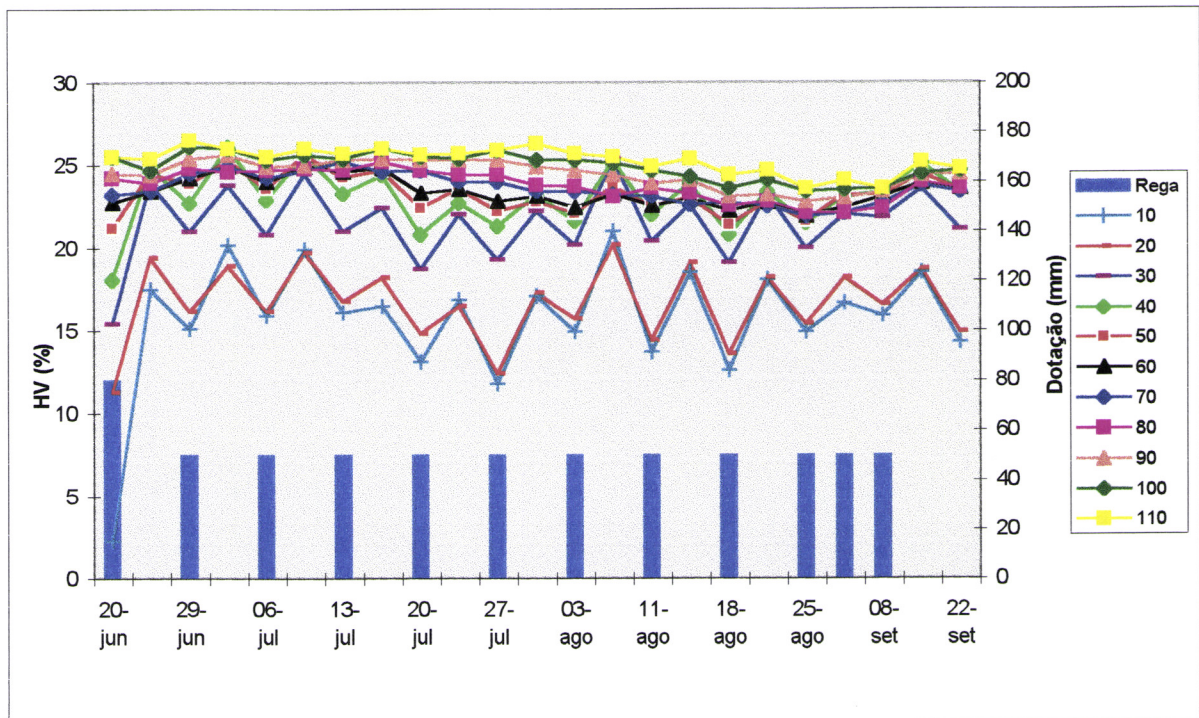


Figura 12 - Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 4

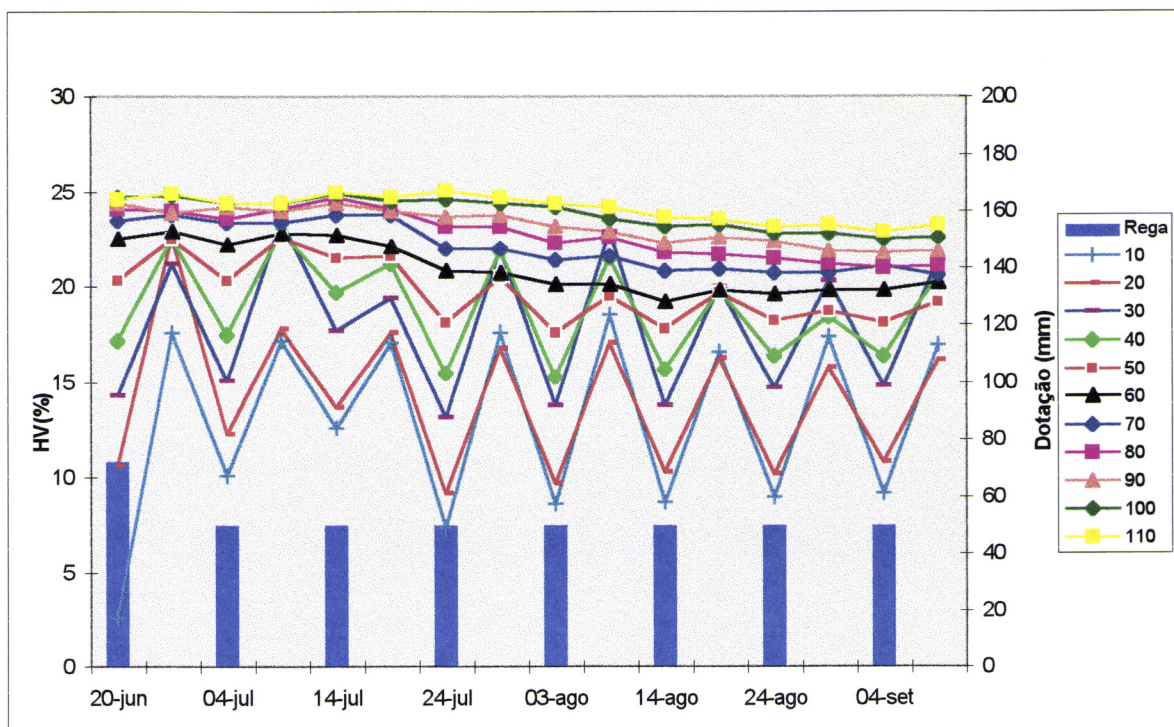


Figura 13 - Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 5

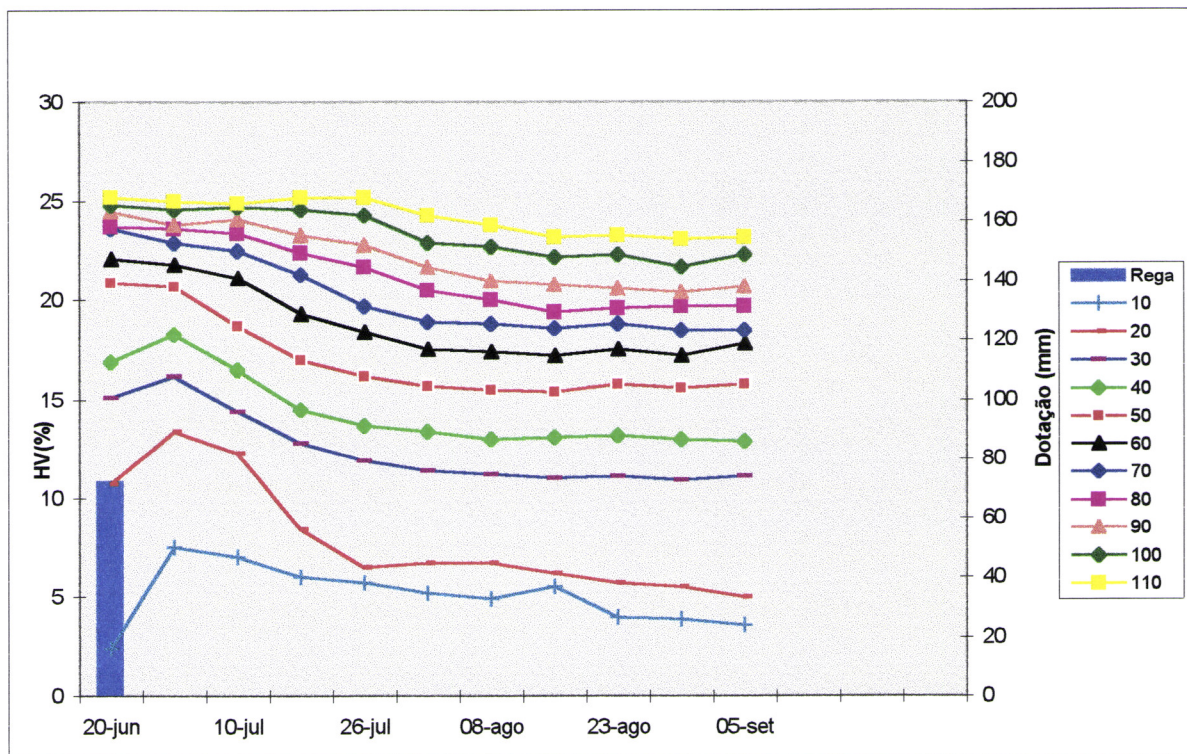


Figura 14 - Evolução da humidade (em percentagem) para diferentes profundidades do perfil, observada na MODALIDADE 6

A humidade volumétrica correspondente às camadas mais profundas poderão não ter alcançado o valor relativo à capacidade de campo (entre 33% e 36%) e provavelmente não se verificou excesso de água no solo.

Comparando as datas das regas para as várias modalidades com as datas referentes aos estádios fenológicos da cultura, indicados respectivamente no Quadro 5 e no Anexo A, é possível observar que no período compreendido entre 7/7 e 15/8 (no qual ocorreu a floração), para as modalidades 1, 2, 3 e 5 foram realizadas 4 regas enquanto que na modalidade 4 se efectuaram 5 regas, pondo à disposição da cultura mais 50 mm de água. Neste período as condições climáticas foram muito adversas à cultura. Em relação à temperatura, os valores máximos diários foram muito elevados chegando mesmo a ultrapassar os 40°C em 5 dias. De acordo com Feio (1991) a temperatura crítica para a cultura é de 35°C. A humidade relativa do ar atingiu valores inferiores a 30%, tendo-se registado apenas 2.8 mm de precipitação. Segundo o mesmo autor existe no milho uma fase crítica, de grande sensibilidade em relação à falta de água, que compreende a polinização e dura aproximadamente 20 dias antes da planta lançar a flor masculina. No caso presente esta fase decorreu de 11/7 a 11/8. O tempo seco afecta a fecundação uma vez que as partes expostas das flores masculina e feminina dessecam precocemente; as infrutescências ficam mal conformadas e com poucos grãos. Durante este período efectuaram-se 4 regas nas modalidades 1, 2 e 3, 5 regas na modalidade 4 e 3 regas na modalidade 5.

## 3.2. Comportamento da cultura

### 3.2.1. Parte aérea

O Quadro 6 apresenta os dados referentes às determinações efectuadas na parte aérea, que foram consideradas no âmbito deste trabalho, tal como foi referido em 2.5.1.2..

Quadro 6 - Rendimento (0% de humidade), Biomassa aérea total e Índice de colheita, para as diferentes modalidades.

Modalidade	Rendimento (t/ha)	Biomassa aérea total (t/ha)	Índice de Colheita
1	7.09	19.79	0.358
2	6.62	20.75	0.319
3	4.51	13.91	0.324
4	11.58	27.31	0.424
5	5.64	14.93	0.378
6	0.00	4.60	-

Para o rendimento em grão apenas a modalidade 4 (Agricultor - recursos hídricos ilimitados) regista valores significativamente diferentes das restantes.

Contudo, comparando o consumo de água de cada modalidade (Quadro 5) com o respectivo rendimento final verifica-se que existe entre os mesmos uma relação linear.

As diferentes táticas de rega influenciaram os rendimentos finais da cultura, não só pela quantidade de água fornecida mas também, e principalmente, pela oportunidade das regas nos períodos mais críticos. Verificou-se que a modalidade 4 apresentou um rendimento final muito superior às restantes; a diferença entre o número de regas efectuadas no período crítico que decorreu entre 11/7 e 11/8, já referenciada em 3.1., parece ter sido determinante.

A modalidade 1 (T.L.V.) apresentou o segundo maior valor de rendimento; todavia este representa apenas 61% do rendimento da modalidade 4, aproximando-se do rendimento da modalidade 2 (EPICTPR - recursos hídricos ilimitados). Importa referir que nas modalidades 1 e 2 foram muito idênticas as datas de rega bem como a dotação total aplicada.

Comparando as modalidades baseadas no mesmo auxiliar de decisão, para as situações: recursos hídricos ilimitados e recursos hídricos limitados (modalidade 2 com modalidade 3 (EPICTPR - recursos hídricos limitados) e modalidade 4 com modalidade 5 (Agricultor - recursos hídricos limitados)) retiram-se algumas conclusões. A modalidade 3 apresentou uma quebra de 32% de rendimento em

relação à modalidade 2. Esta quebra é justificada pela interrupção da rega, uma vez atingido o limite imposto de 400 mm, pois até esse momento o intervalo entre regas foi semelhante ao praticado na modalidade 2; durante o período crítico da polinização ambas foram regadas 4 vezes. A modalidade 5 apresentou uma quebra de 51% em relação ao rendimento da modalidade 4. A diferença pode ser atribuída ao número de regas efectuadas no período crítico entre 11/7 e 11/8, 5 e 3 para as modalidades 4 e 5, respectivamente (tal como foi mencionado em 3.1).

Em relação ao índice de colheita (quociente entre o rendimento e a biomassa aérea total) os valores variaram entre 0.32 e 0.42 (excluindo a modalidade 6 - Sequeiro). Santos *et al* (1995) obteve, em ensaio semelhante, um índice de colheita médio de 0.50. Os valores referentes às modalidades 4 (0.42) e 5 (0.38) foram aqueles que mais se aproximaram dos valores normalmente obtidos na região.

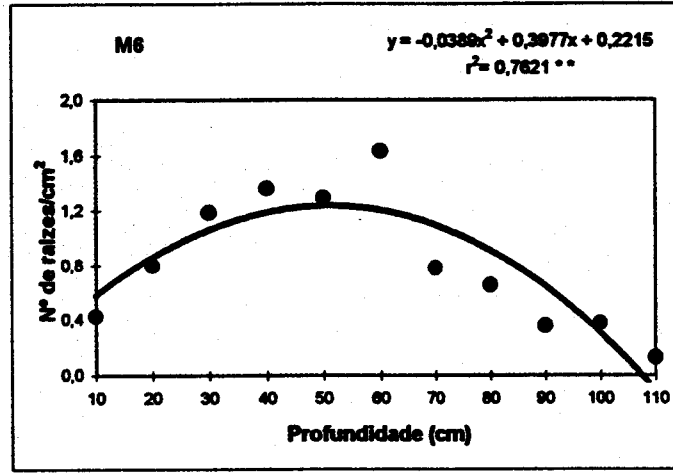
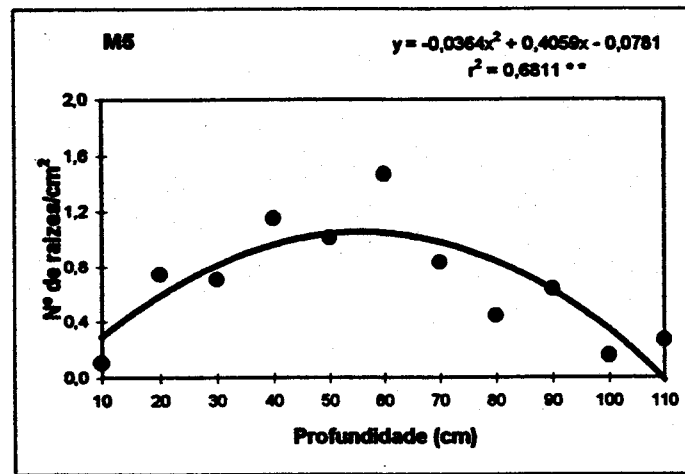
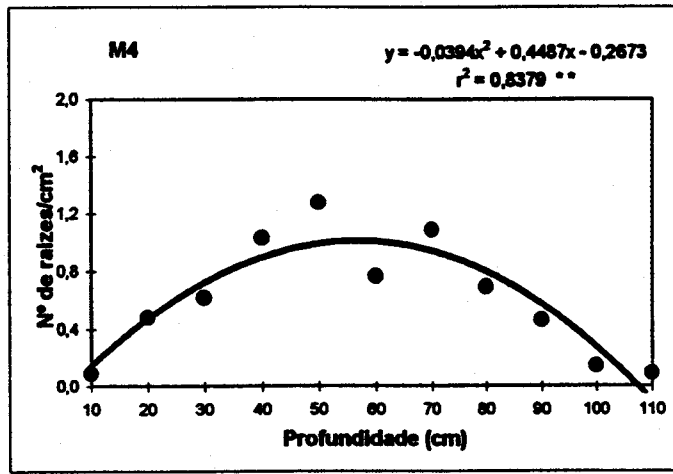
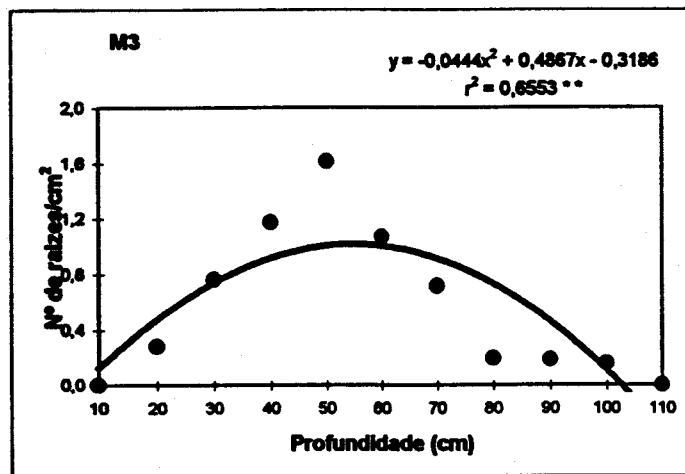
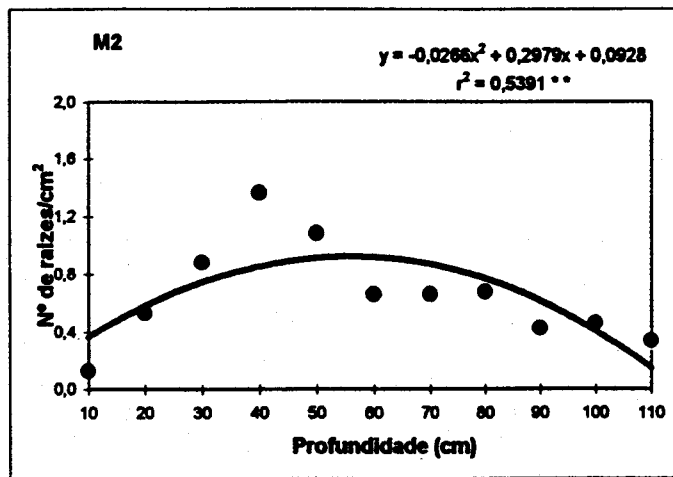
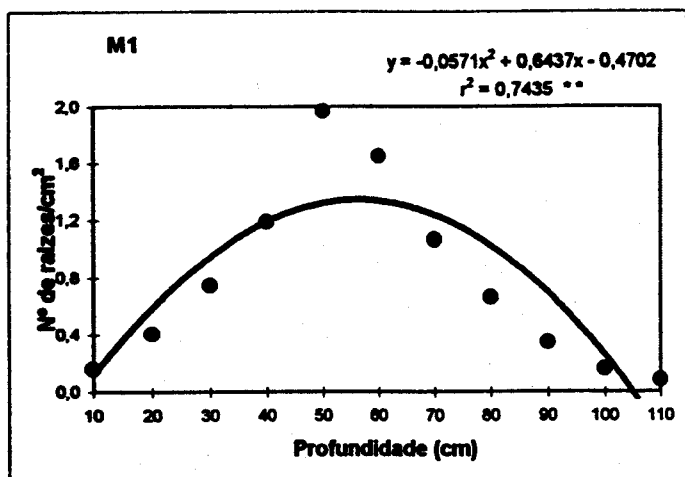
### 3.2.2. Parte radical

Os valores da Intensidade Radical -  $IR_n$ , para cada modalidade e para as submodalidades Linha e Talude relativos às várias profundidades e épocas de observação, são indicados no Anexo B.

A evolução do sistema radical ao longo do perfil do solo, em termos de  $IR_n$ , está representada nas Figuras 15 a 24, apresentando cada uma delas as equações de regressão e respectivos coeficientes de determinação, definidos em cada época de observação e local de amostragem (Linha e Talude), para as várias modalidades. Um quadro resumo, com todas as equações, é apresentado no Anexo C.

Como foi referido em 2.6, o tratamento estatístico teve como base os valores dos coeficientes de determinação obtidos para as 60 curvas (Figuras 15 a 24). No Quadro 7 são apresentados os resultados obtidos quanto à análise de significância.





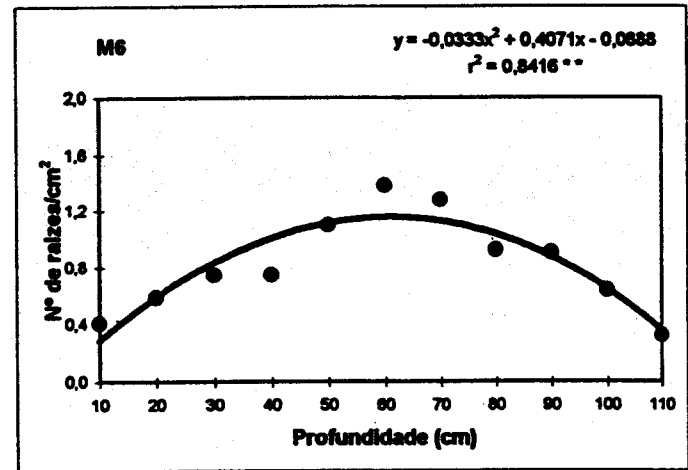
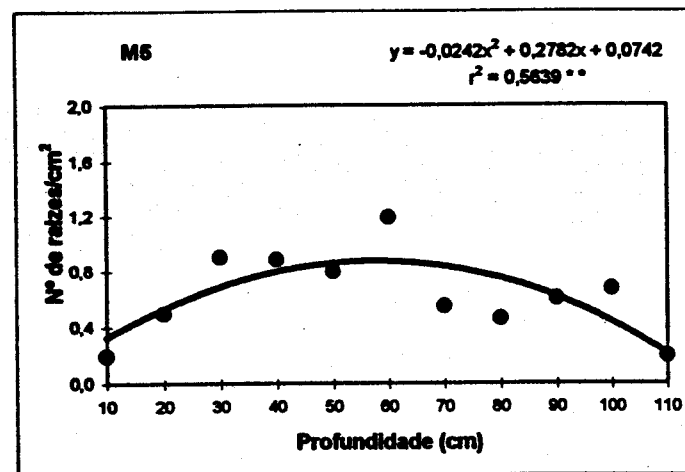
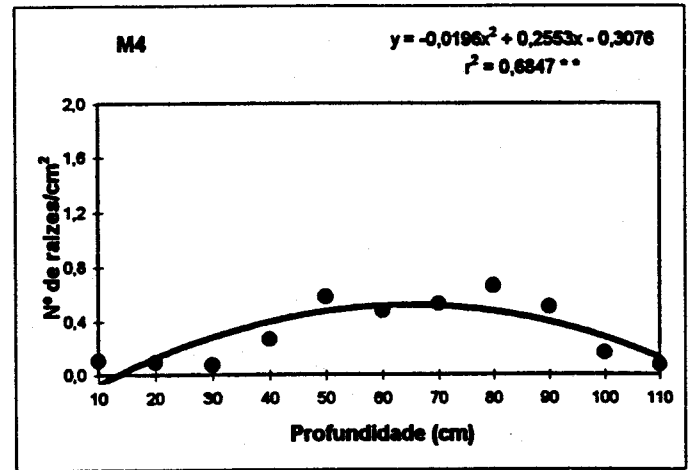
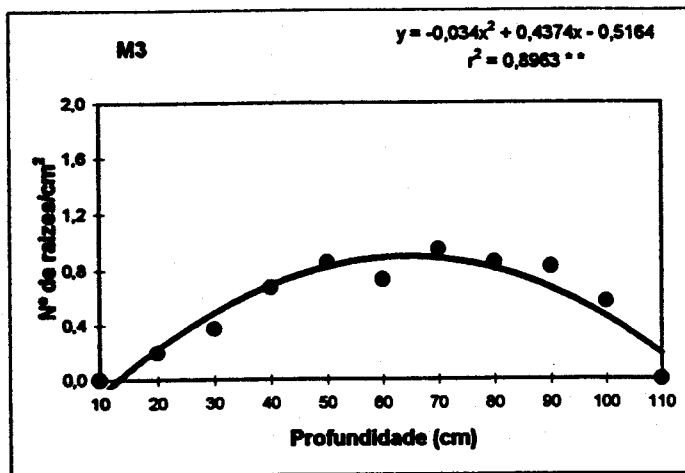
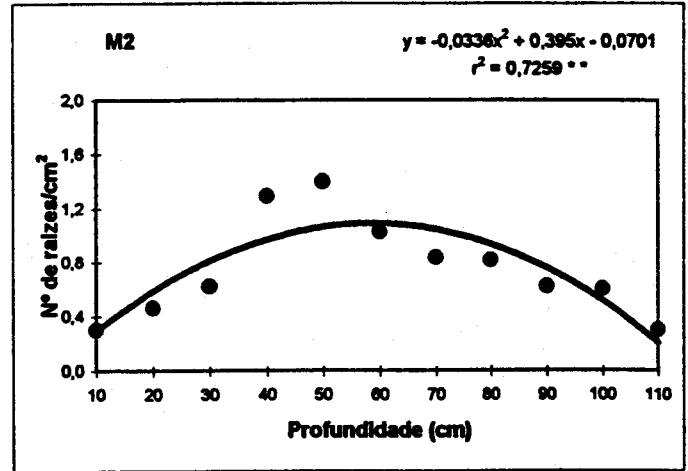
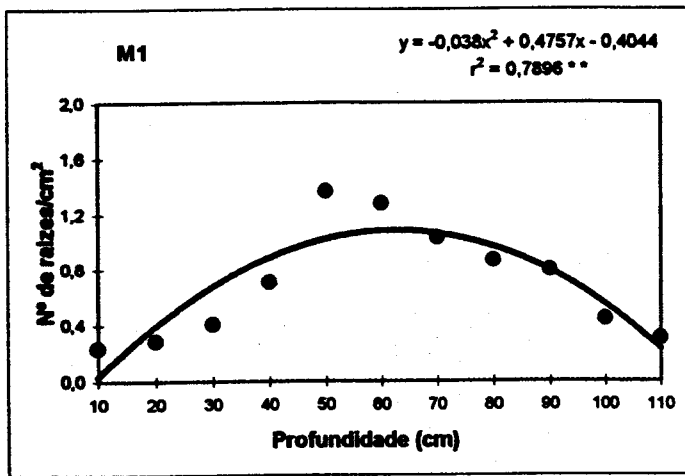
Nº de amostras = 11

\* P < 0,05

\*\* P < 0,01

ns P > 0,05

Figura 15 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Linha - 1ª época de observação (61 dias após sementeira).



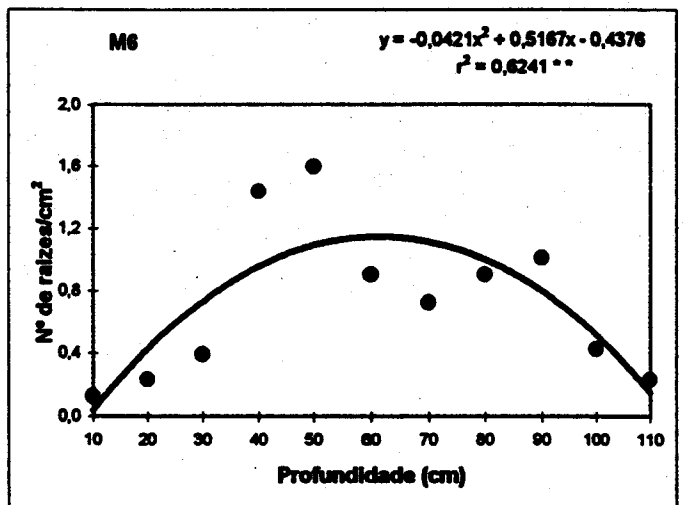
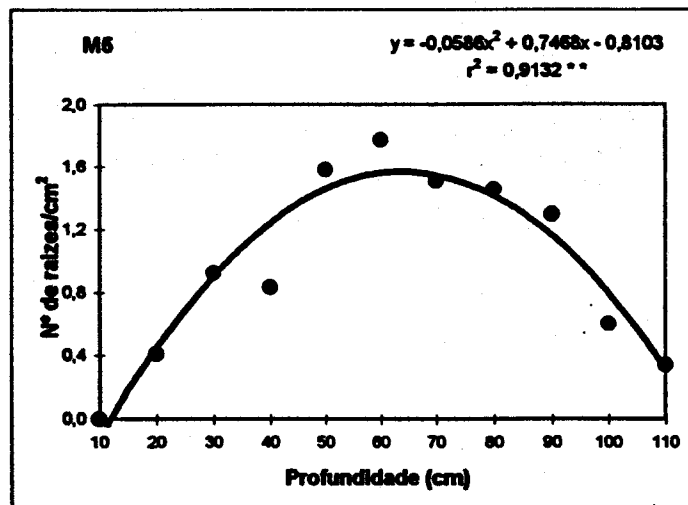
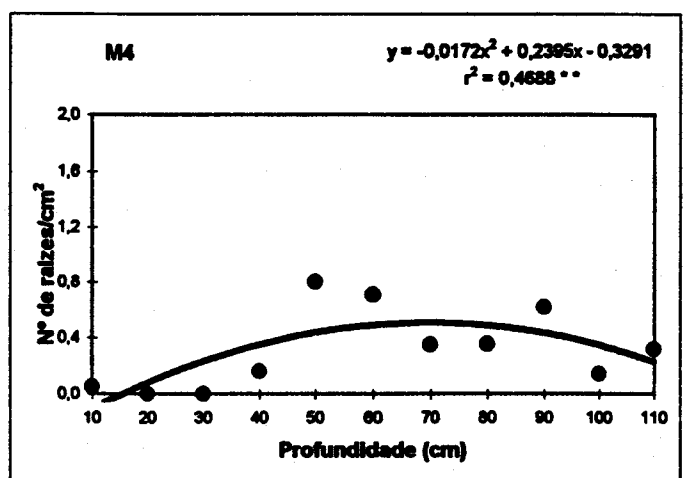
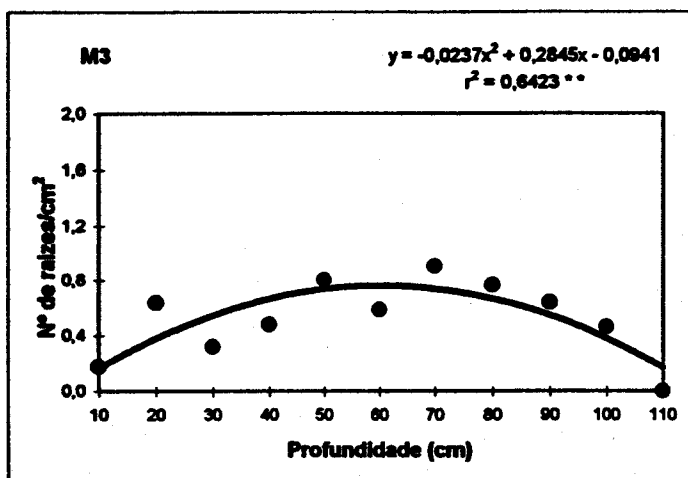
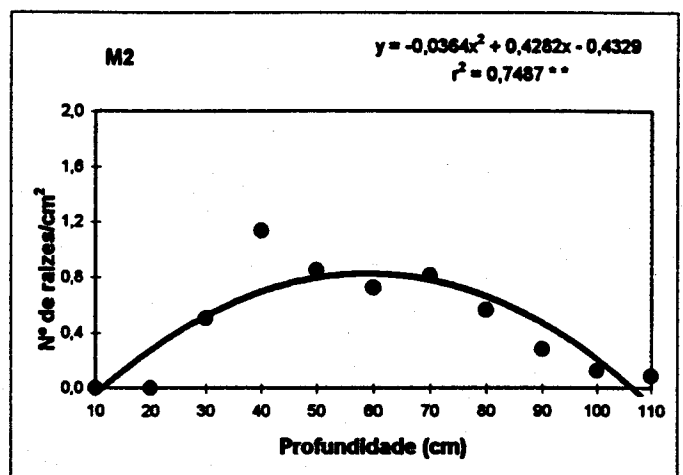
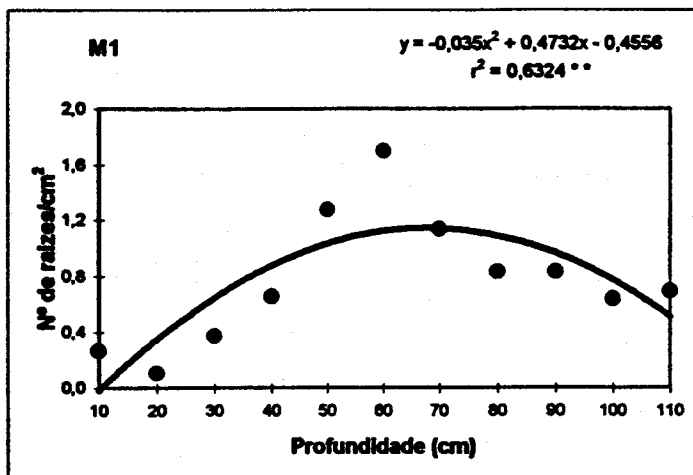
Nº de amostras = 11

•  $P < 0,05$

• •  $P < 0,01$

ns  $P > 0,05$

Figura 16 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Linha - 2ª época de observação (81 dias após sementeira).



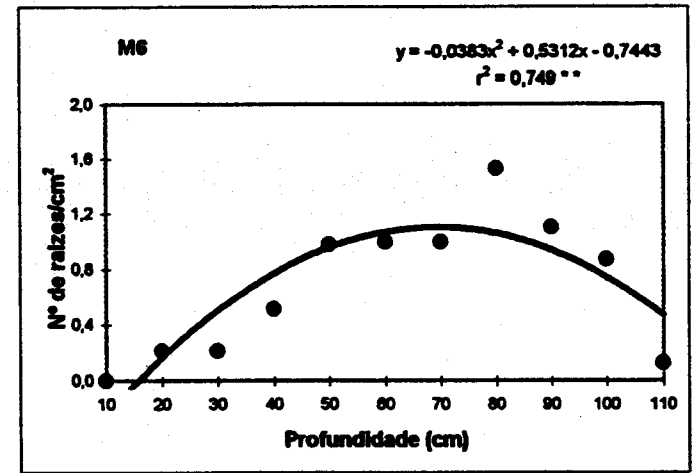
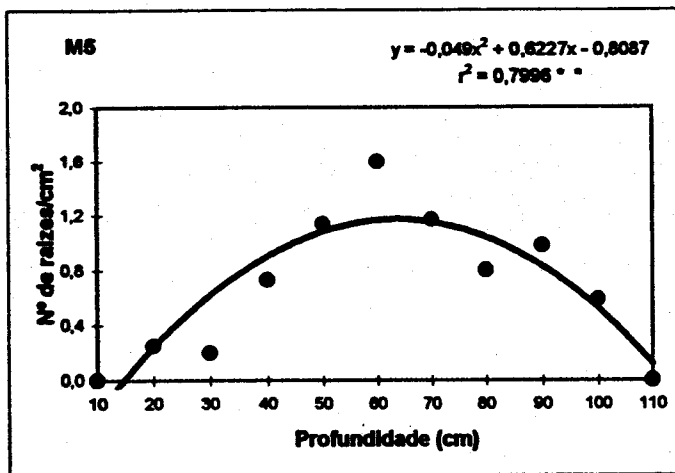
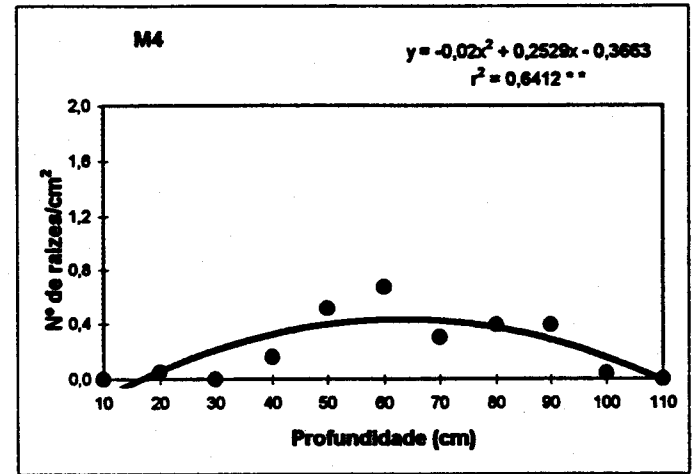
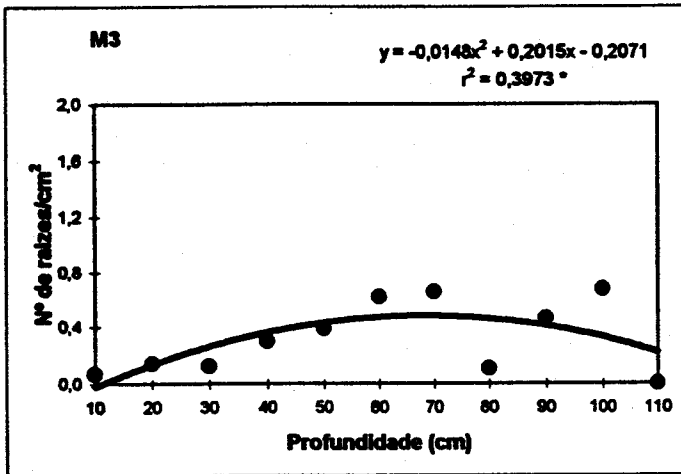
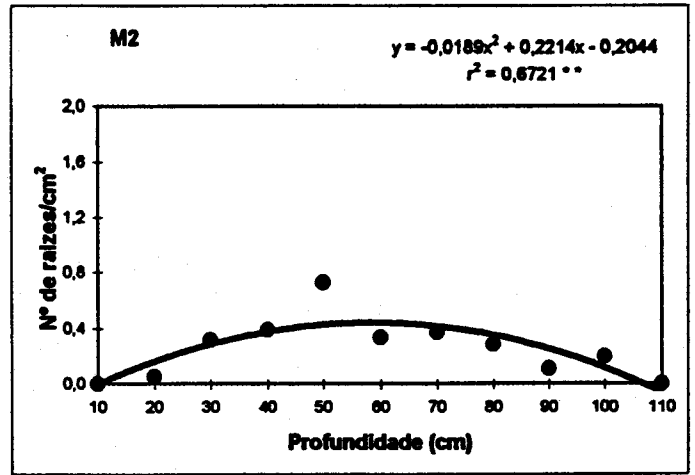
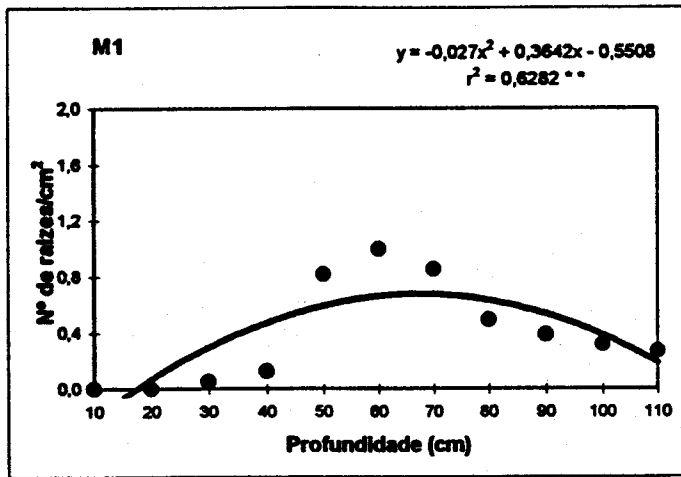
Nº de amostras = 11

\*  $P < 0,05$

\*\*  $P < 0,01$

ns  $P > 0,05$

**Figura 17 -** Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Linha - 3ª época de observação (105 dias após sementeira).



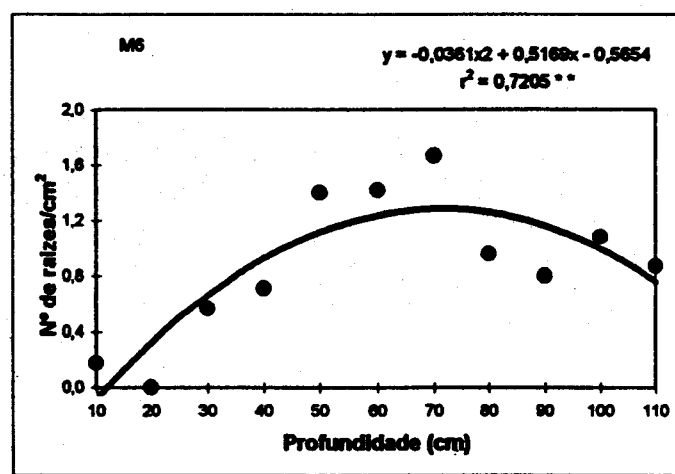
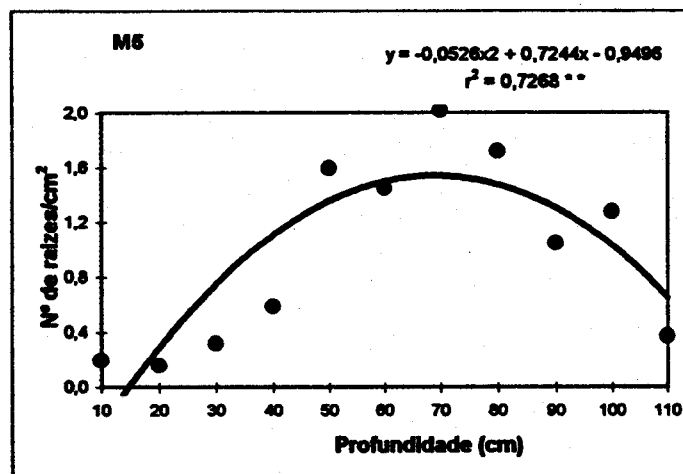
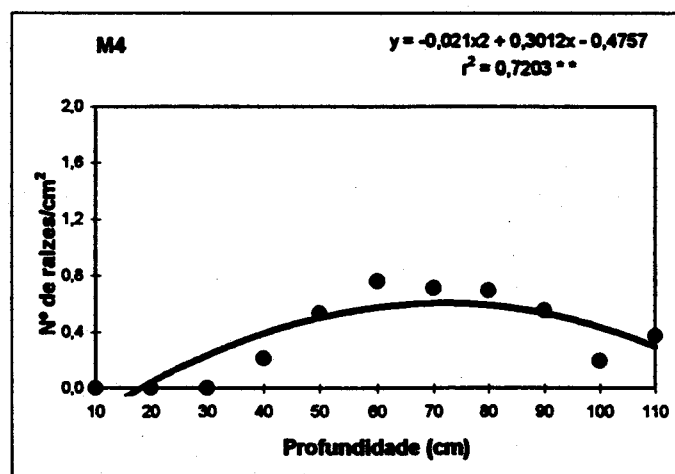
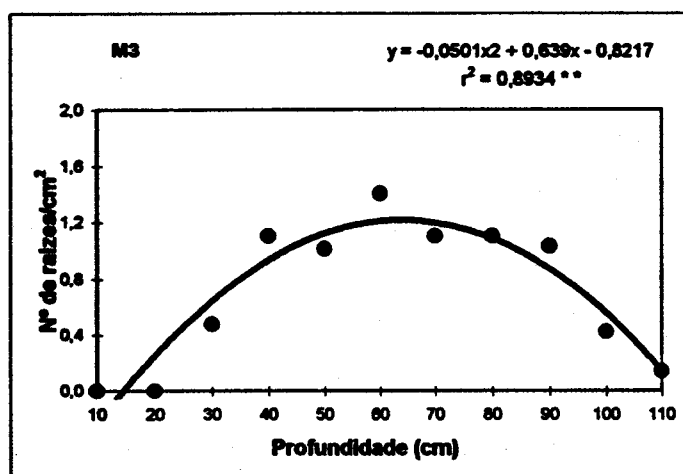
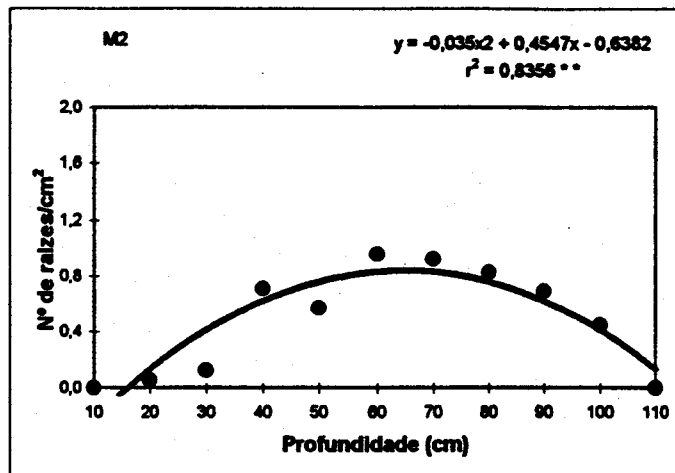
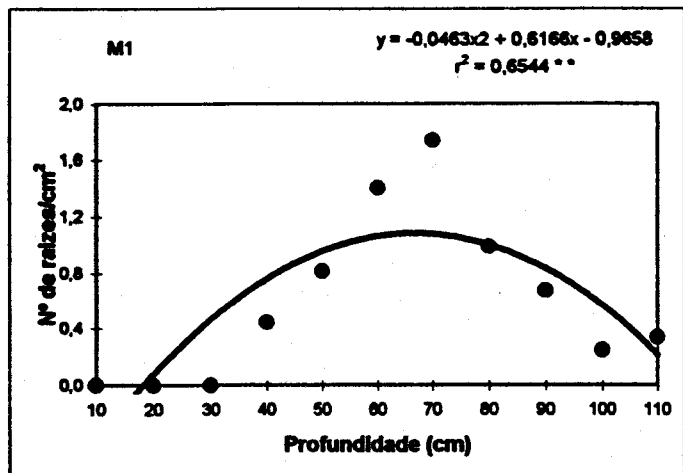
Nº de amostras = 11

\* P < 0,05

\*\* P < 0,01

ns P > 0,05

Figura 18 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Linha - 4ª época de observação (130 dias após sementeira).



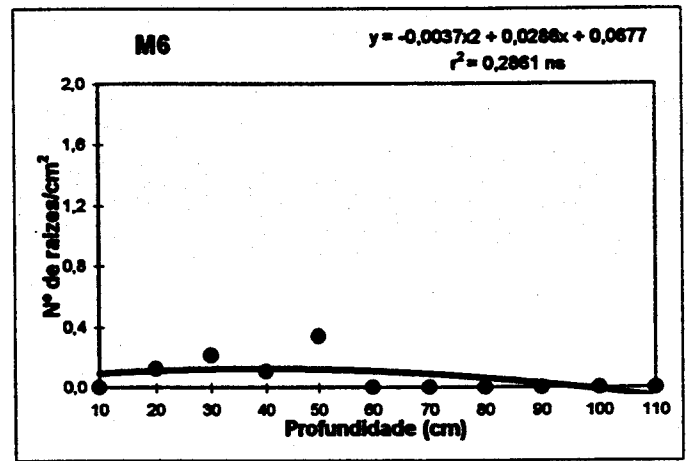
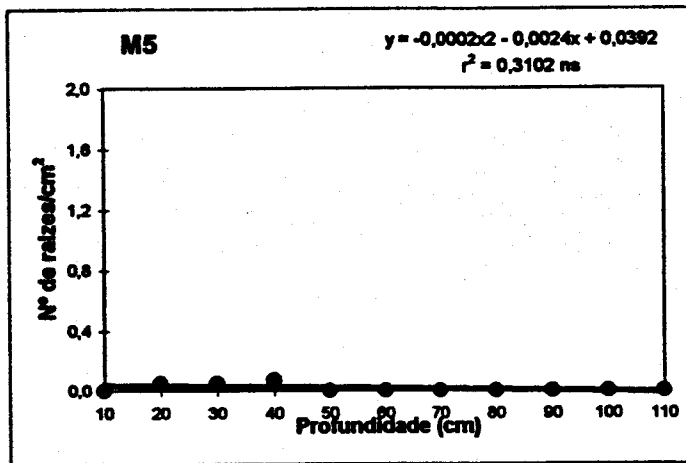
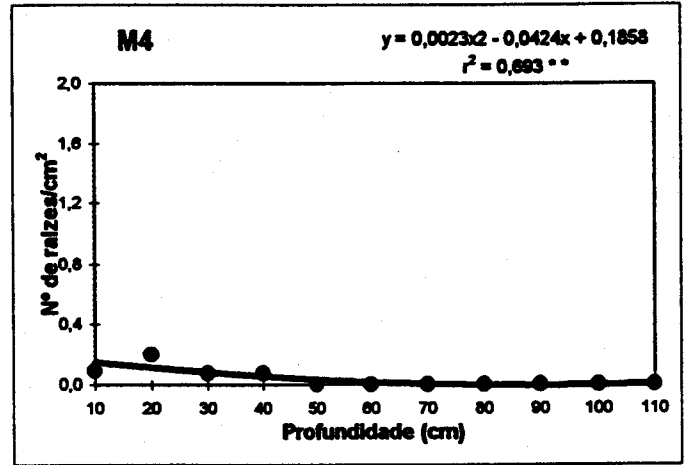
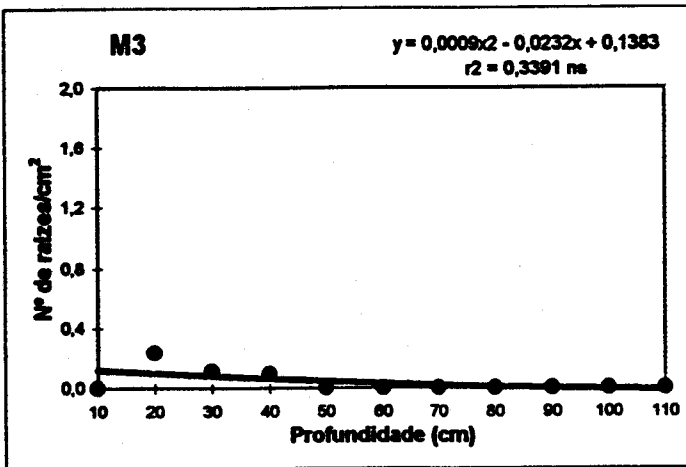
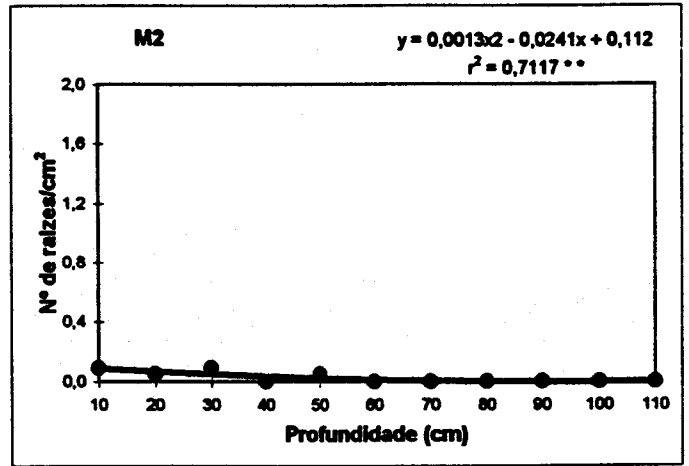
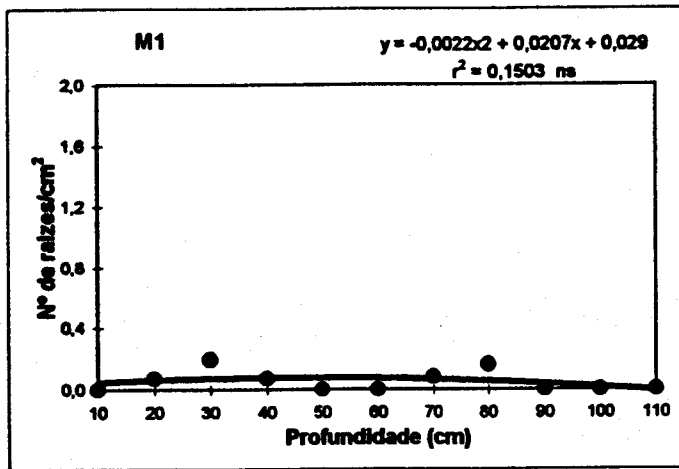
Nº de amostras = 11

\* P < 0,05

\*\* P < 0,01

ns P > 0,05

**Figura 19 -** Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Linha - 5ª época de observação (150 dias após sementeira).



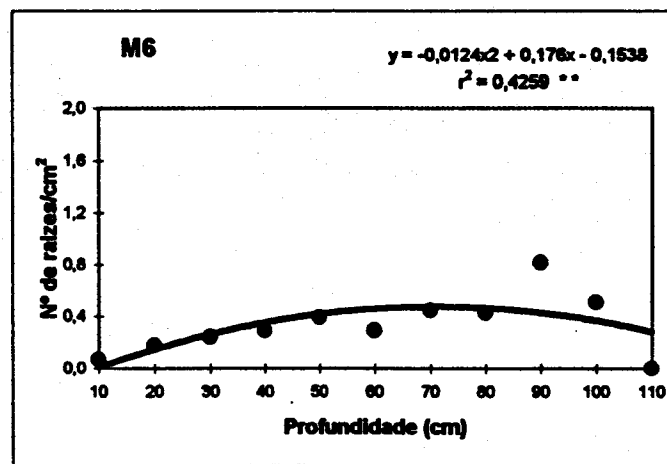
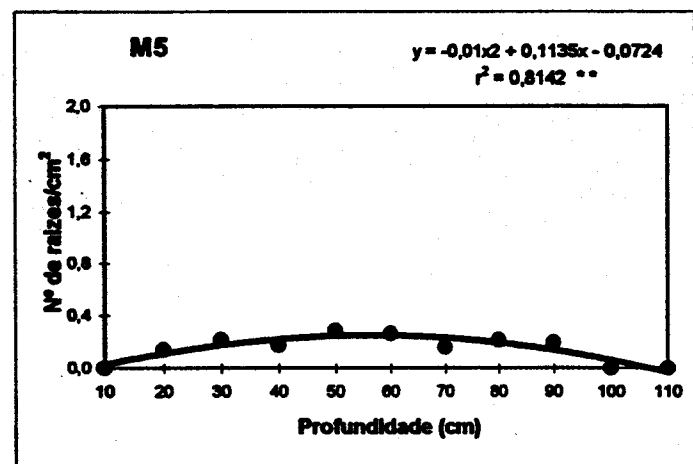
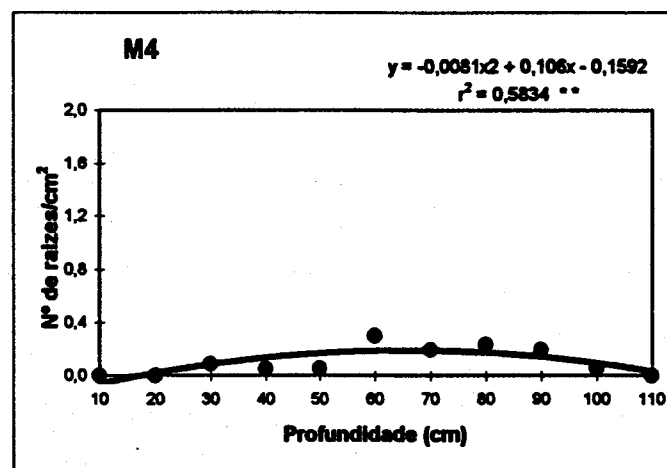
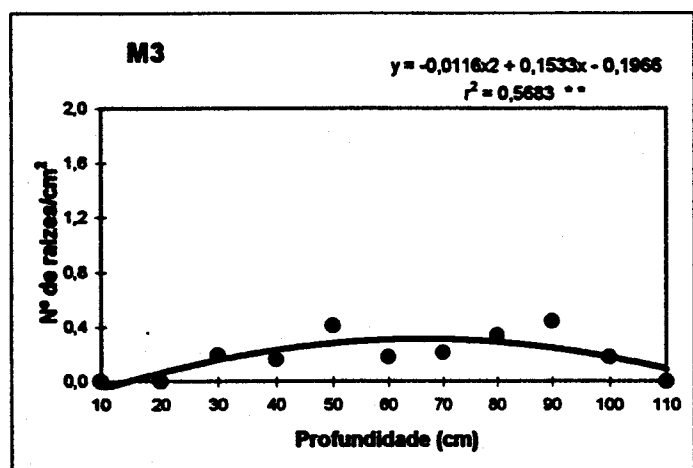
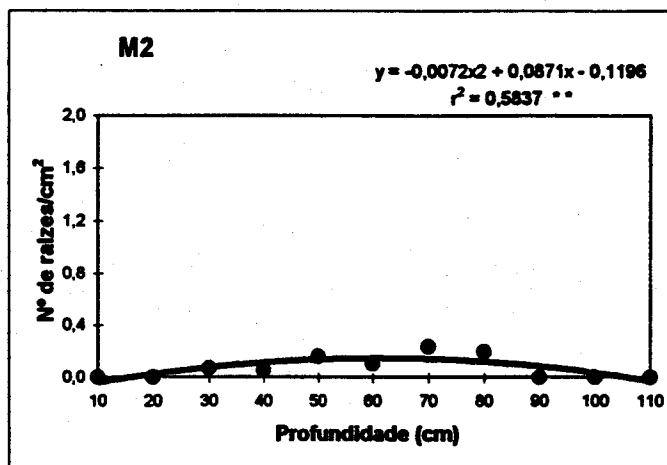
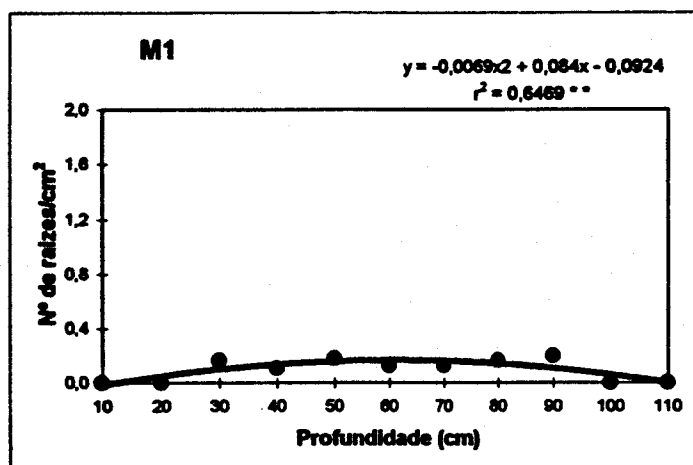
Nº de amostras = 11

\*  $P < 0,05$

\*\*  $P < 0,01$

ns  $P > 0,05$

Figura 20 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Talude - 1ª época de observação (61 dias após sementeira).



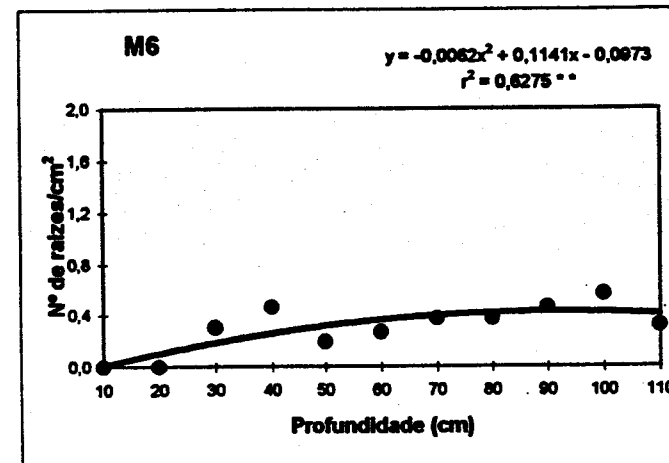
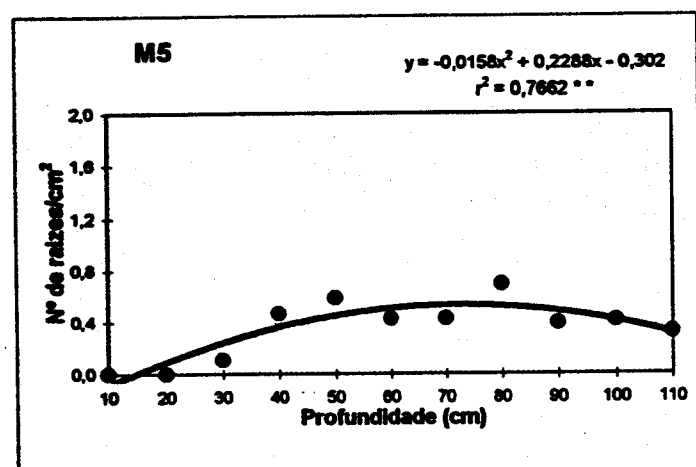
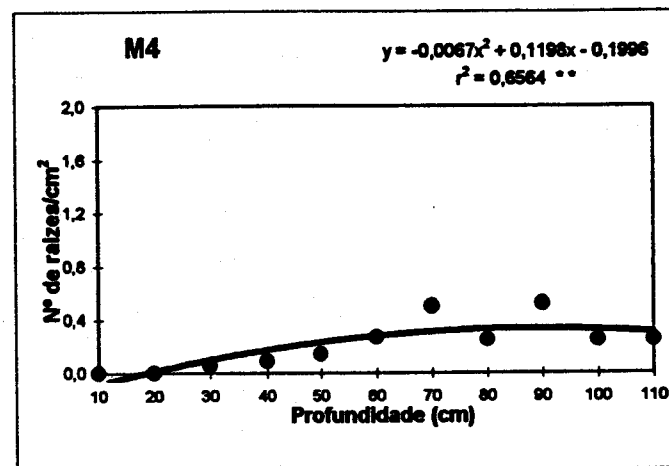
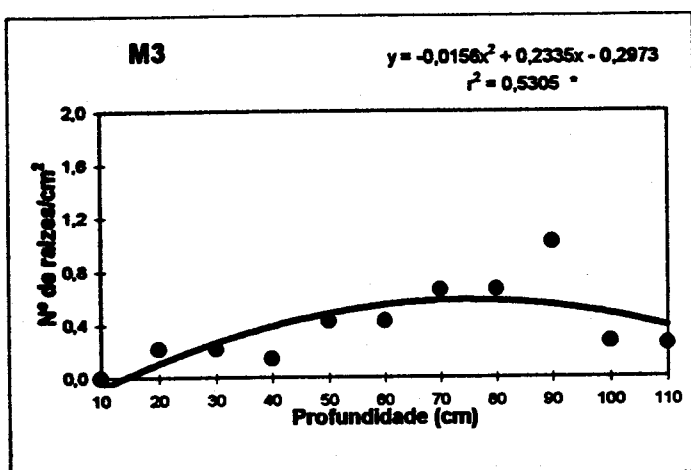
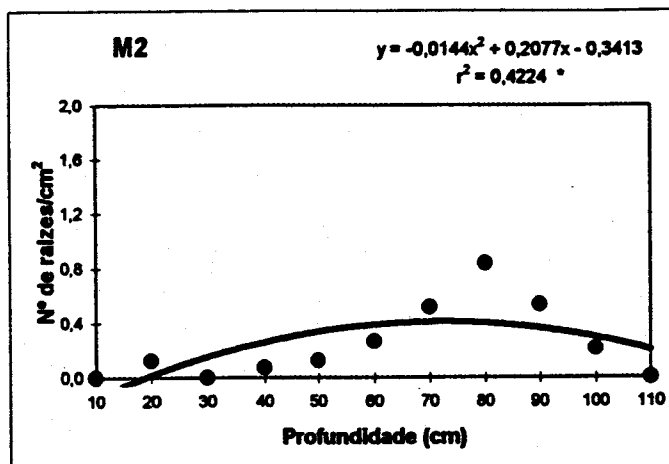
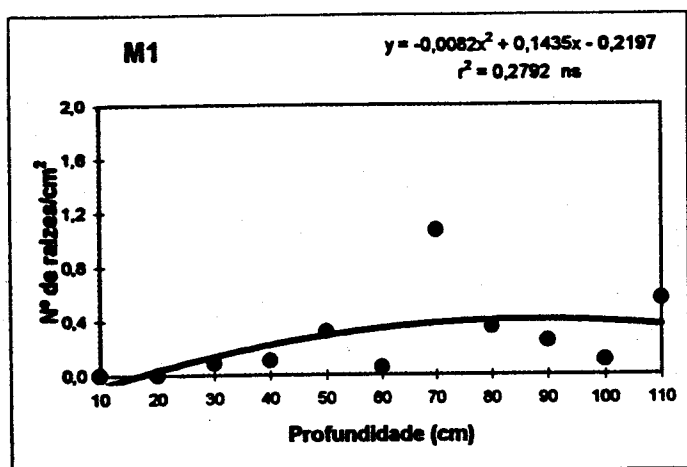
Nº de amostras = 11

\* P < 0.05

\*\* P < 0.01

ns P > 0,05

Figura 21 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Talude - 2ª época de observação (81 dias após sementeira).



Nº de amostras = 11

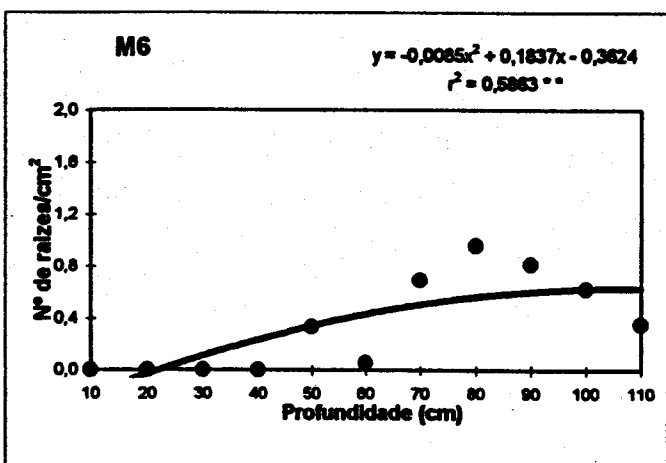
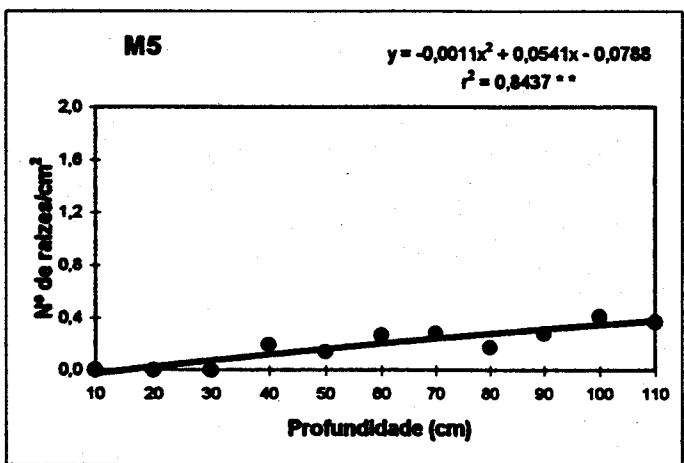
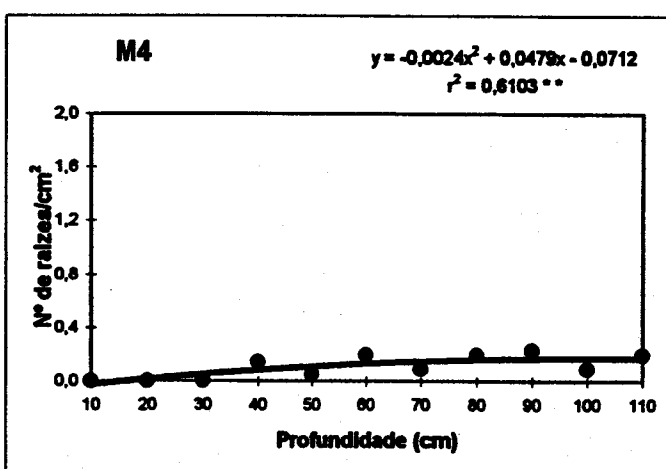
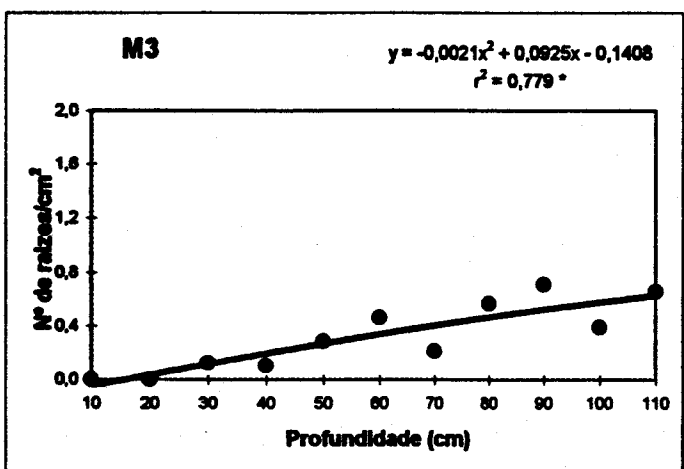
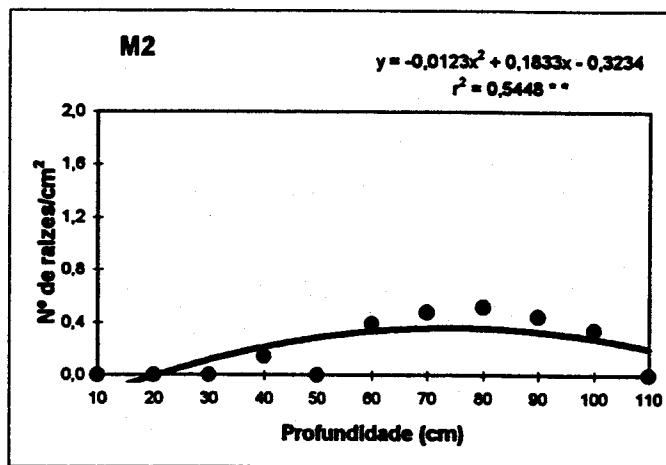
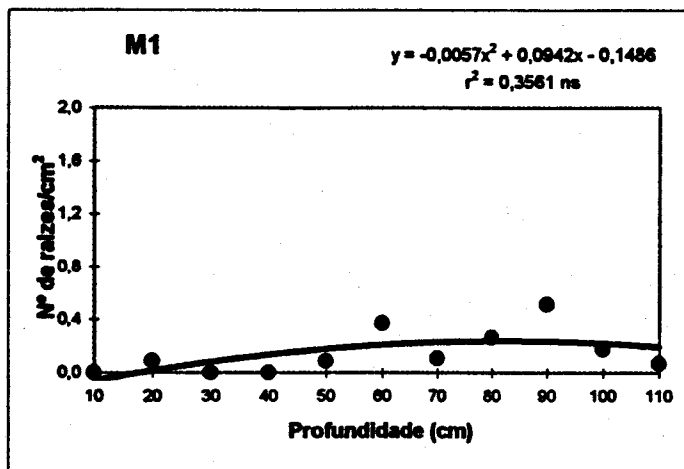
\*  $P < 0,05$

\*\*  $P < 0,01$

ns  $P > 0,05$

Figura 22 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Talude - 3ª época de observação (105 dias após sementeira).





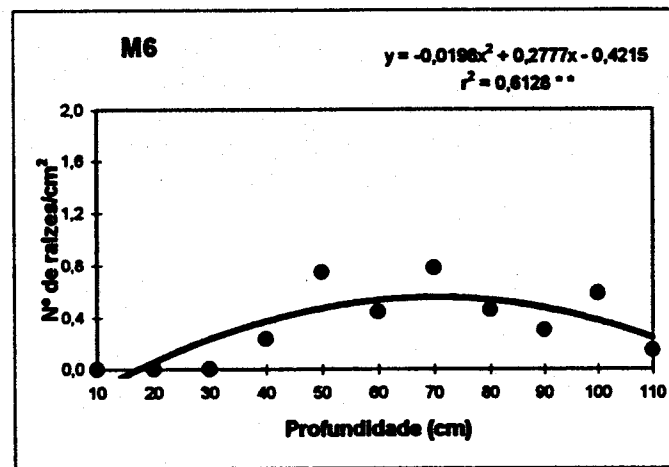
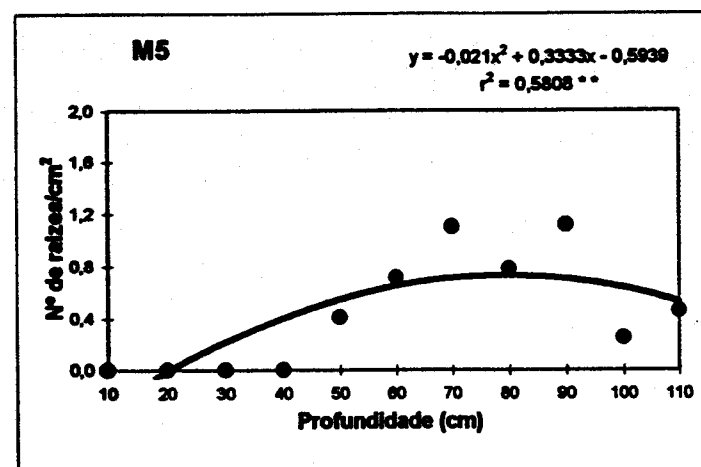
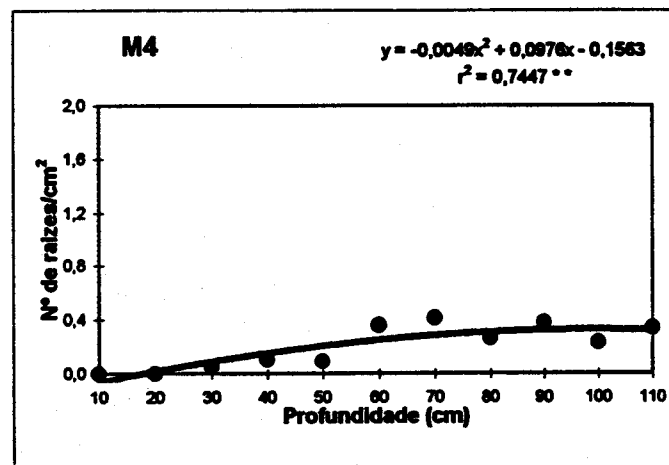
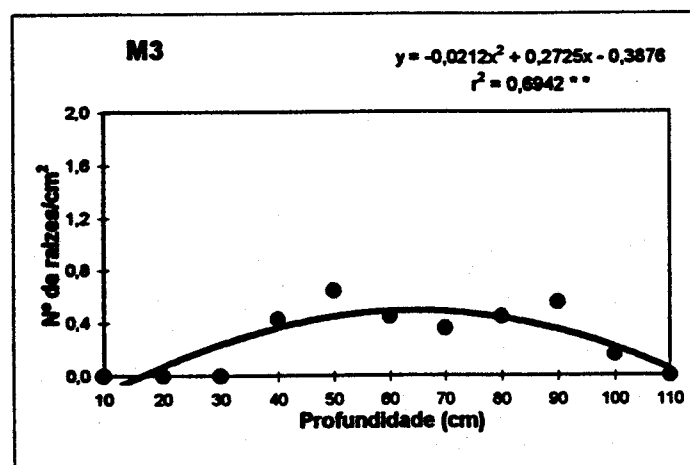
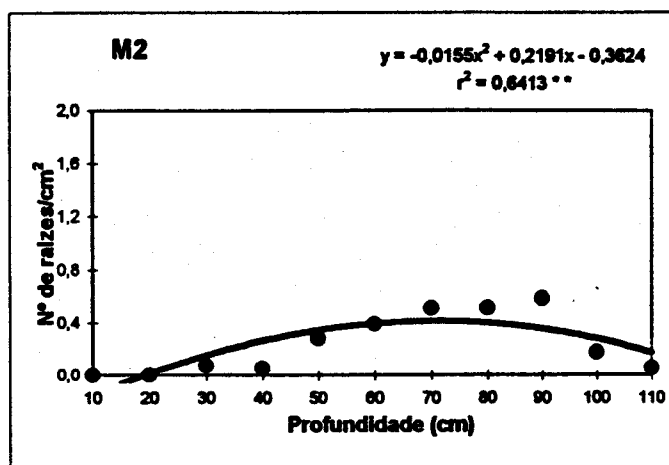
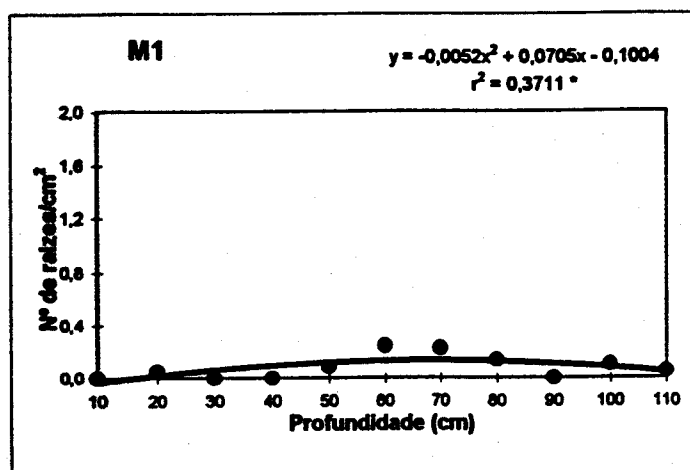
Nº de amostras = 11

\* P < 0.05

\*\* P < 0.01

ns P > 0,05

Figura 23 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Talude - 4ª época de observação (130 dias após sementeira).



Nº de amostras = 11

\*  $P < 0,05$

\*\*  $P < 0,01$

ns  $P > 0,05$

Figura 24 - Representação gráfica das regressões entre a Intensidade Radical ( $IR_n$ ) e a profundidade para cada modalidade. Talude - 5ª época de observação (150 dias após sementeira).

Quadro 7 - Análise de Significância: efeitos linear, quadrático e cúbico.

	LINHA						TALUDE					
	Épocas			Modalidades			Épocas			Modalidades		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
E.L.	ns	ns	*	ns	ns	ns	**	**	**	ns	ns	ns
E.Q.	ns	ns	ns	**	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
E.C.	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns

a - coeficiente de x

b - coeficiente de x

c - constante

E.L. - efeito linear

E.Q. - efeito quadrático

E.C. - efeito cúbico

ns - não significativo

\* - significativo para  $P \leq 0,10$

\*\* - significativo para  $P \leq 0,05$

Pela leitura do referido quadro verifica-se que na Linha não existiram diferenças significativas entre as épocas. Contudo, as modalidades foram significativamente diferentes. Quanto ao Talude, as diferenças entre épocas foram altamente significativas mas as modalidades já não foram significativamente diferentes, ou seja, neste local de observação as diferenças no comportamento do sistema radical não foram significativas face aos diversos tratamentos ao nível da quantidade de água aplicada e da respectiva oportunidade de aplicação.

Para a situação Linha, de um modo geral verificou-se que a  $IR_n$  aumentou com a profundidade até atingir o máximo, cerca dos 50 - 60 cm, nas duas primeiras épocas de observação, e dos 60 - 70 cm, nas três épocas restantes. A partir daí ocorreu um declínio que foi mais ou menos acentuado, dependendo do valor máximo obtido e da quantidade de raízes observada nos níveis mais profundos.

Em relação ao Talude, na 1ª época de observação os valores da  $IR_n$  determinados para as várias modalidades foram muito baixos. Os mini-rizotróes só

puderam ser inseridos no solo após abertura dos sulcos, tendo decorrido apenas 15 dias entre a sua instalação e a época referida. Deste modo não houve tempo suficiente para permitir o restabelecimento do equilíbrio no microambiente circundante ao tubo. Nas épocas seguintes o comportamento das curvas relativas às várias modalidades foi semelhante ao que se verificou na linha, embora os valores de  $IR_n$  tenham sido inferiores, salvo algumas excepções, como por exemplo na modalidade 4, na observação feita 105 dias após sementeira, na qual os valores do Talude são superiores aos observados na Linha. Contudo, é de salientar que de uma forma geral para todas as modalidades a partir da 3ª época, inclusive, se observou uma quantidade apreciável de raízes nas camadas mais profundas e que os valores máximos foram atingidos a maiores profundidades. Comparando, para a mesma estratégia de rega, as situações de recursos hídricos ilimitados com as de recursos hídricos limitados, nestas últimas o aumento da intensidade radical em profundidade foi maior, o que terá a ver com as menores dotações de água à superfície. As modalidades 3 e 5, na 4ª época, apresentaram um comportamento diferente, com crescimento linear da variável em estudo, desde a superfície até à profundidade máxima de observação (110 cm).

Mengel e Barber (1974), ao estudarem o sistema radical do milho em condições de campo, efectuaram determinações do comprimento radical, avaliando a sua distribuição em várias épocas ao longo do ciclo cultural e em vários locais de amostragem. Nos locais correspondentes aos do presente estudo, Linha e Talude, concluíram que, embora nas primeiras épocas a Densidade Radical fosse muito superior na linha, no estágio correspondente à fase de emergência dos estigmas do milho, as diferenças entre os locais de amostragem se tornavam menos evidentes. Estes autores não especificam se a cultura foi regada e, neste caso, que método foi usado, o que tem como consequência não sabermos o tipo de distribuição de água no solo.

Uma menor quantidade de raízes observada junto do talude do sulco (local facilmente humedecido), pode ser explicada pela maior proliferação das raízes sob a planta, o que normalmente acontece, e pela acção compactadora do derregador.

Também Reis (1991), ao analisar o desenvolvimento radical do milho numa situação de rega por sulcos, com o recurso ao método das amostragens com sonda

manual, verificou que a grande massa radical se concentrava sob a planta, tendo sido encontradas raízes junto ao talude do sulco, mas em muito menor quantidade.

A expansão das raízes observada por Chaudary e Prihar (1974), sob condições em que a entrelinha foi compactada através da passagem de máquinas e alfaias agrícolas em condições de solo húmido, foi deste modo inibida nos estádios iniciais do seu desenvolvimento, em relação às camadas superficiais, provocando o seu aprofundamento.

Roma (1995), desenvolveu um ensaio no qual recorreu ao método do mini-rizotróo para avaliar o efeito da subsolagem e drenagem no crescimento do sistema radical do milho. Efectuou observações nas situações Linha e Talude, tendo verificado que as diferenças entre os respectivos valores foram significativas, obtendo para IR<sub>c</sub> valores médios de 1.015 cm/cm<sup>2</sup> e 0.576 cm/cm<sup>2</sup>, respectivamente para as localizações Linha e Talude.

Para uma melhor interpretação dos resultados, apresenta-se graficamente a evolução da Intensidade Radical para as 5 épocas de observação, para cada modalidade e nos vários níveis de profundidade (Figuras 25 e 26, respectivamente para a Linha e para o Talude).

Em relação à Linha (Figura 25) observa-se que a grande massa de raízes se concentrou entre os 40 e os 80 cm de profundidade. Os valores mais elevados da variável em estudo foram 1.97 raízes/cm<sup>2</sup> e 2.02 raízes/cm<sup>2</sup>, respectivamente para as modalidades 1 (1<sup>a</sup> época) e 5 (5<sup>a</sup> época).

Comparativamente, a localização Talude apresenta uma menor quantidade de raízes (Figura 26). Esta diferença em relação à Linha foi mais evidente nos primeiros 40 cm do perfil do solo, verificando-se a partir dessa profundidade um aumento da massa radical na localização Talude. Também neste caso os valores mais elevados ocorreram nas modalidades 1 e 5, respectivamente 1.06 raízes/cm<sup>2</sup> (3<sup>a</sup> época) e 1.12 raízes/cm<sup>2</sup> (5<sup>a</sup> época).

Refere Merrill *et al* (1987) que, de um modo geral, nos ensaios que utilizam o método do mini-rizotróo, os valores da Densidade Radical correspondentes às camadas superficiais do solo (até aos 30 cm) são mais baixos do que os correspondentes às camadas mais profundas, contrariamente ao que se verifica em

amostras de solo + raízes colhidas com sonda. De acordo com estes autores, na origem desta discrepância estão problemas de visibilidade através dos mini-rizotróes, junto à superfície. Provavelmente é nesta zona do solo que ocorre uma maior taxa de substituição das raízes, detectável com maior facilidade através das determinações da Densidade Radical efectuadas em amostras de solo + raízes.

Samson e Sinclair (1994), num estudo comparativo entre os métodos do mini-rizotróo e das amostras de solo + raízes colhidas com sonda para determinação da Intensidade Radical do milho, efectuaram observações em 6 profundidades ao longo do tubo (a primeira aos 13 cm e a última aos 78 cm, com intervalos de 13 cm) e em 3 épocas durante o ciclo cultural (33, 45 e 59 dias após sementeira). Os mini-rizotróes foram colocados na entrelinha. Verificaram que a maior Intensidade Radical, em termos de  $IR_n$ , ocorreu nas observações efectuadas aos 39 cm e aos 52 cm.

Os valores de  $IR_n$  obtidos no referido estudo oscilaram entre os 0.2 raízes/cm<sup>2</sup> e os 0.8 raízes/cm<sup>2</sup>. No presente estudo, os valores mais elevados da Intensidade Radical no Talude, cerca de 1.1 raízes/cm<sup>2</sup>, ocorreram na modalidade 5, 150 dias após sementeira, aproximadamente aos 70 - 80 cm de profundidade.

A comparação entre estes valores e os que foram obtidos no presente estudo é relativa, devido ao desfasamento entre as datas de observação (a última época para o referido trabalho coincide com a primeira no caso presente), mas também porque existe uma série de condicionalismos determinantes da forma de distribuição das raízes no solo (tipo de solo, regime hídrico a que a cultura está sujeita, a espessura de solo que a água de rega consegue humedecer, etc.).

Uma análise idêntica, mas efectuada época a época, poderá ser feita a partir dos gráficos apresentados nas Figuras 27 e 28, respectivamente para a Linha e para o Talude. Na Linha, a homogeneidade da distribuição do sistema radical entre as várias épocas, é bem evidenciada na Figura 27.

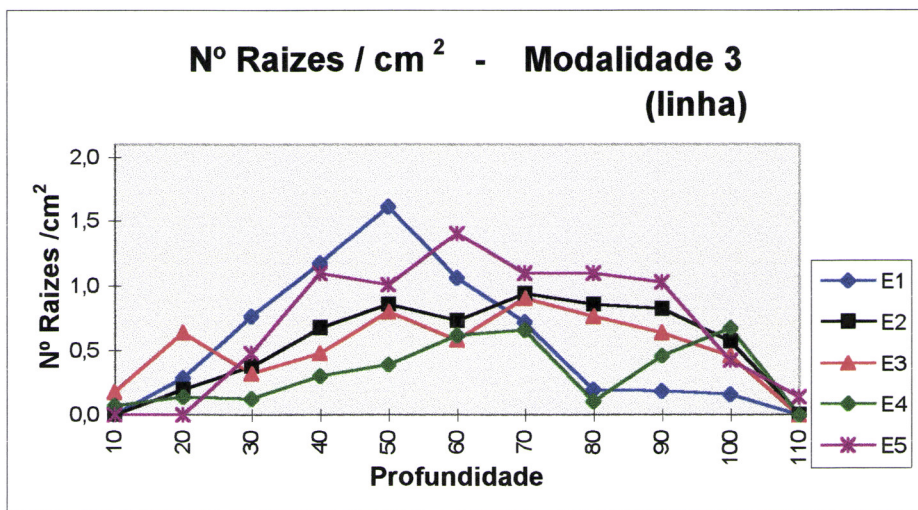
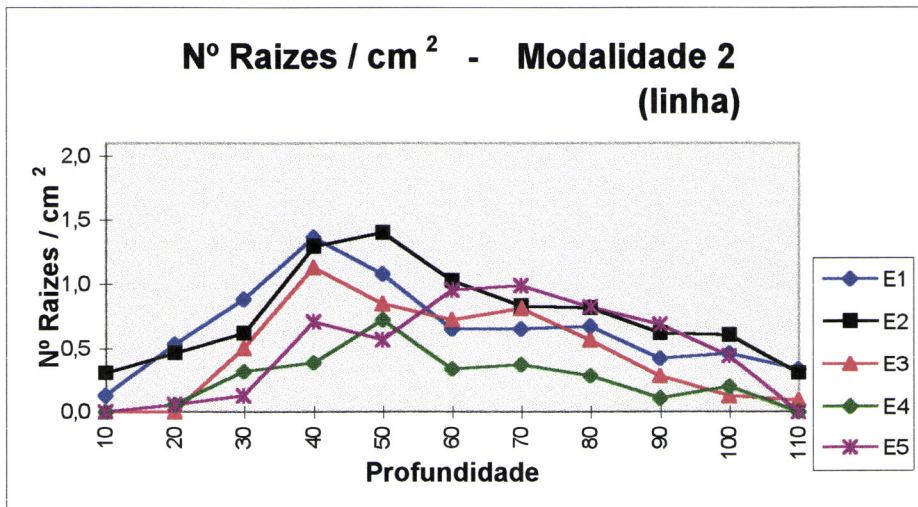
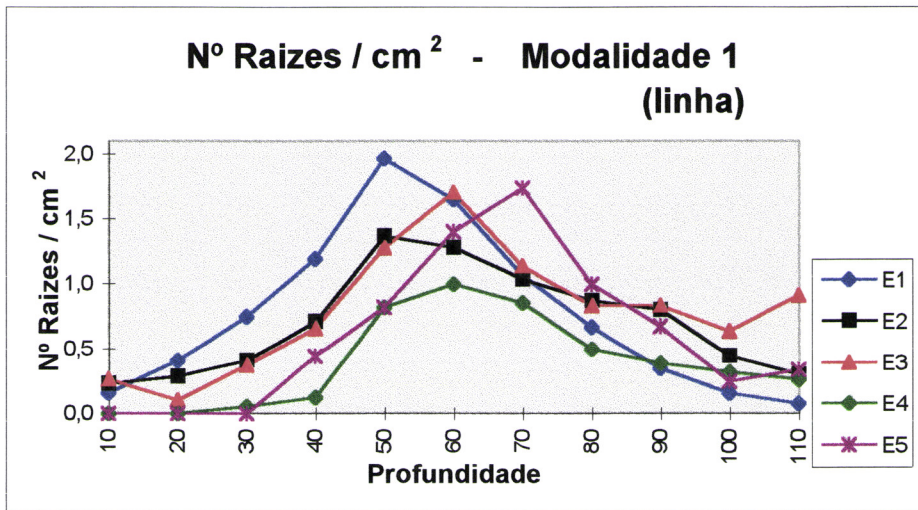


Figura 25 - Evolução da Intensidade radical (nº de raízes por unidade de área superficial do tubo), para cada modalidade, nos vários níveis de profundidade, na linha.

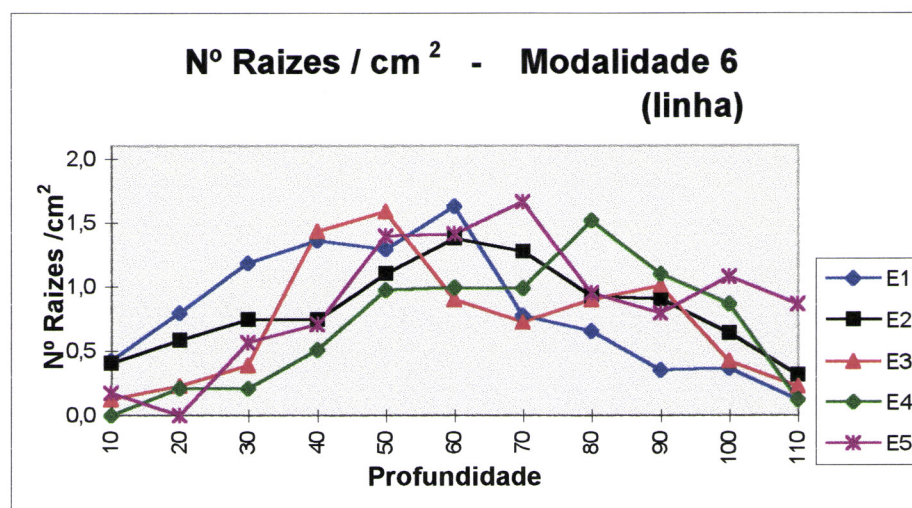
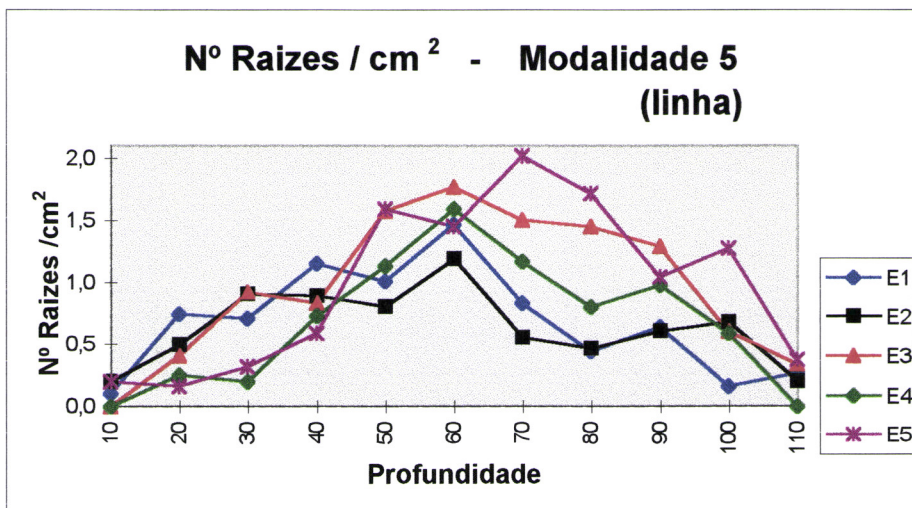
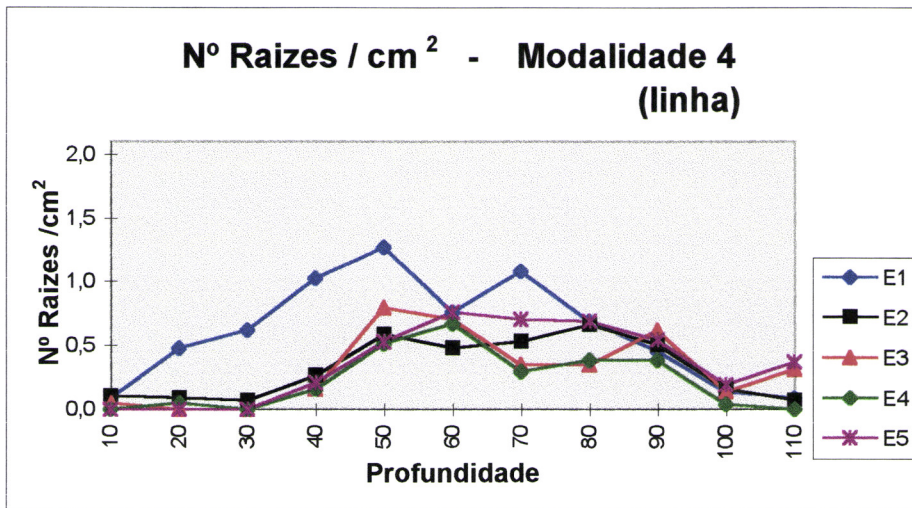


Figura 25 (cont.) - Evolução da Intensidade radical (nº de raízes por unidade de área superficial do tubo), para cada modalidade, nos vários níveis de profundidade, na linha.



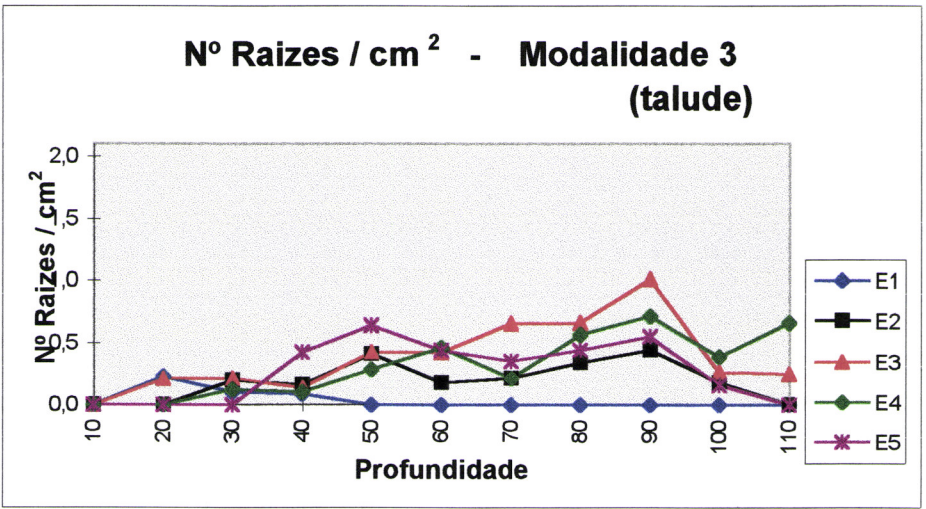
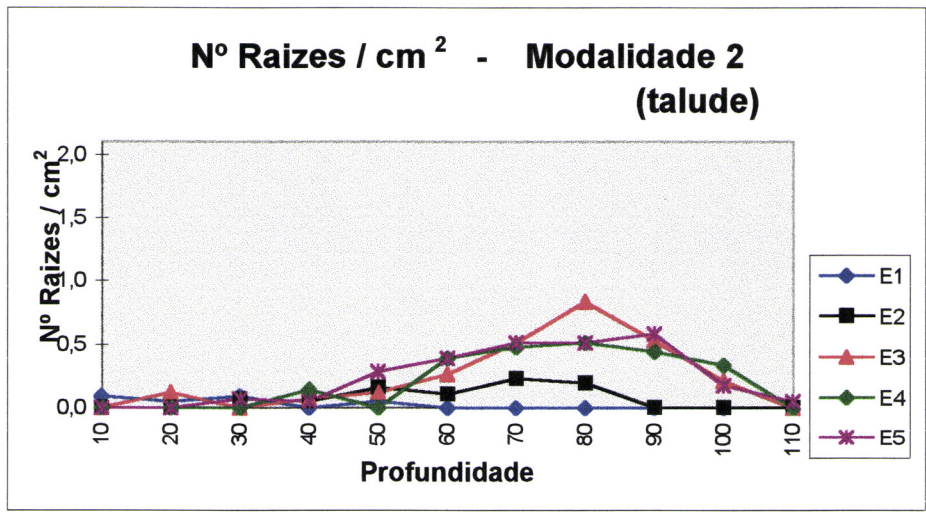
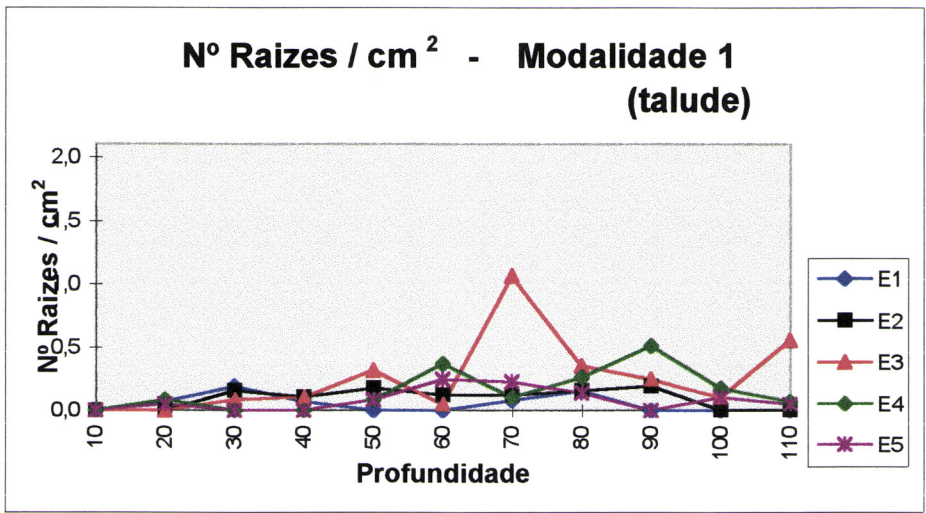


Figura 26 - Evolução da Intensidade radical (nº de raízes por unidade de área superficial do tubo), para cada modalidade, nos vários níveis de profundidade, no talude.

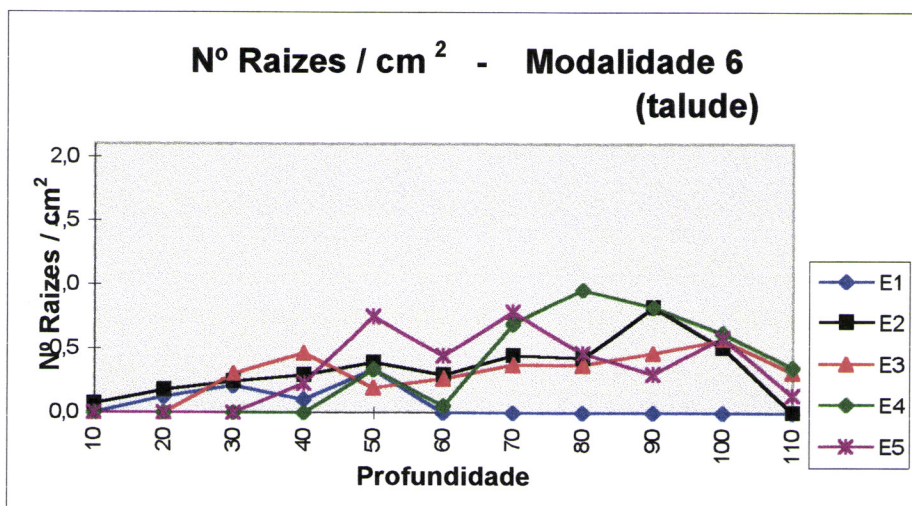
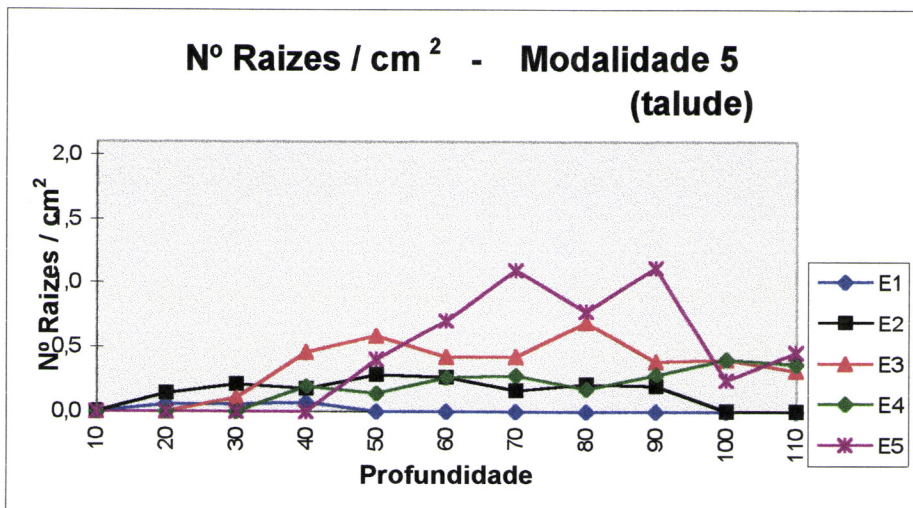
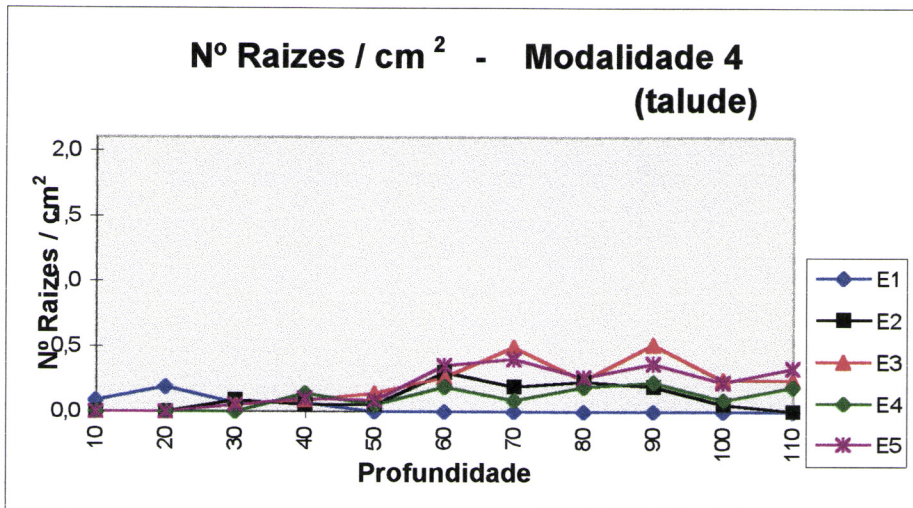


Figura 26 (cont.) - Evolução da Intensidade radical (nº de raízes por unidade de área superficial do tubo), para cada modalidade, nos vários níveis de profundidade, no talude.

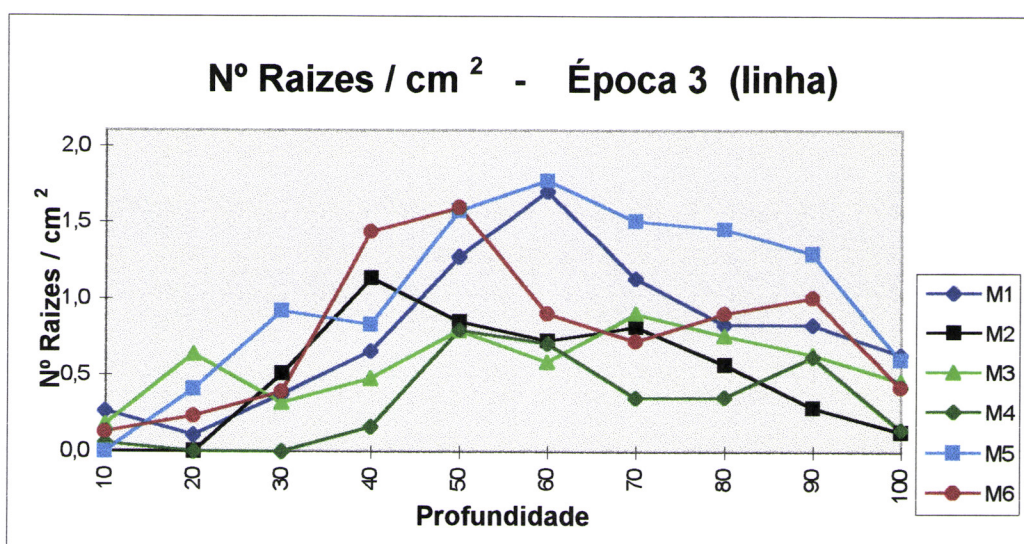
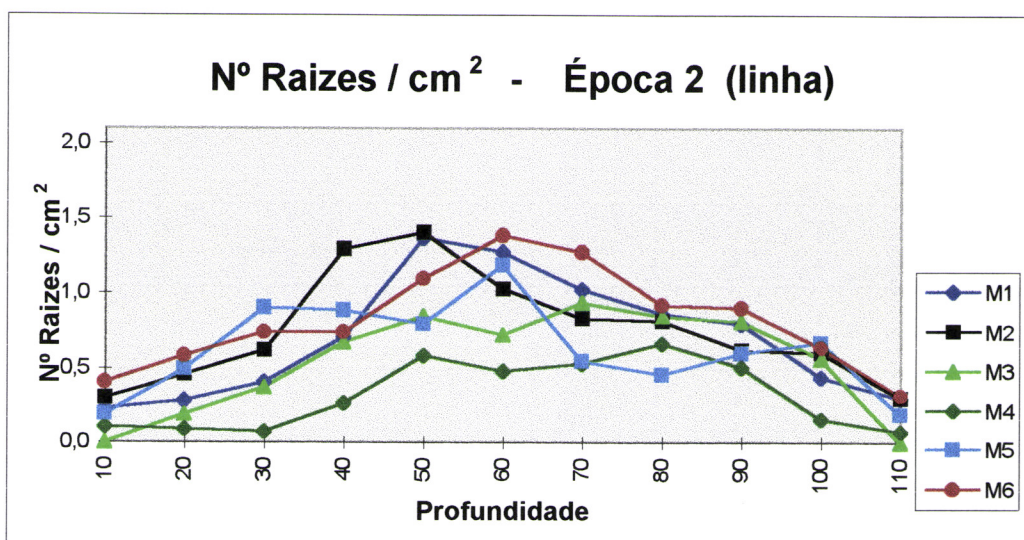
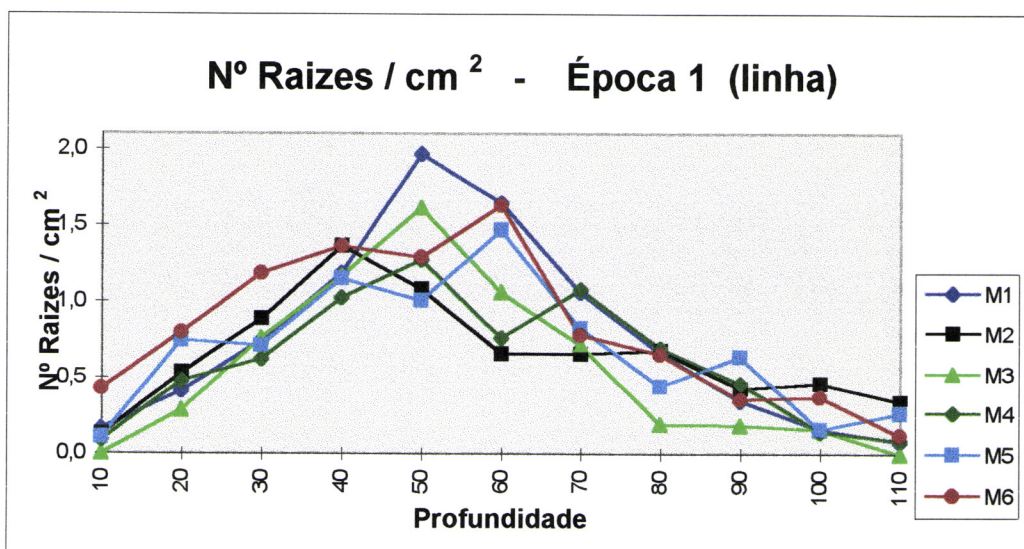


Figura 27 - Intensidade radical, para as várias modalidades, em cada nível de profundidade e por época, na linha.

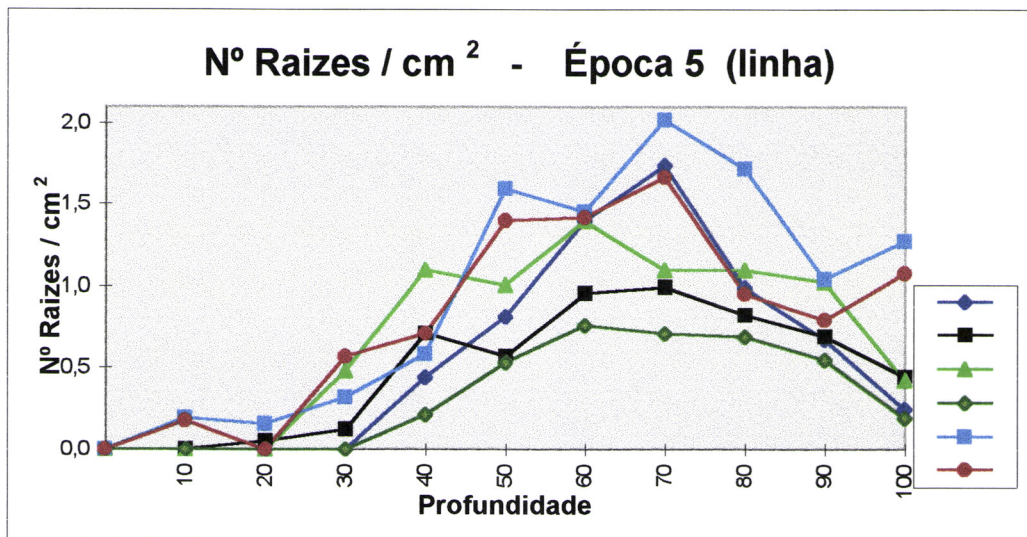
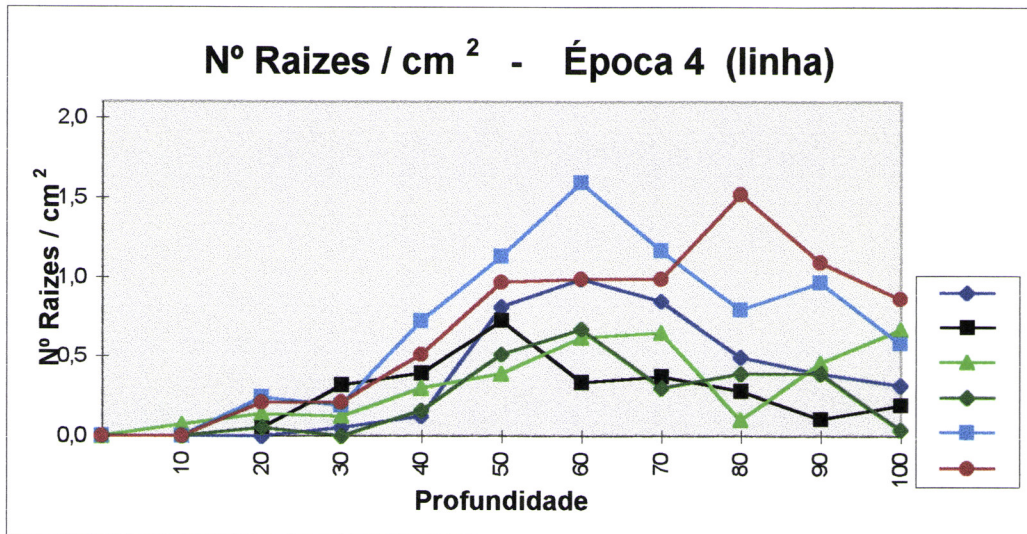


Figura 27 (cont.) - Intensidade radical, para as várias modalidades, em cada nível de profundidade e época, na linha.

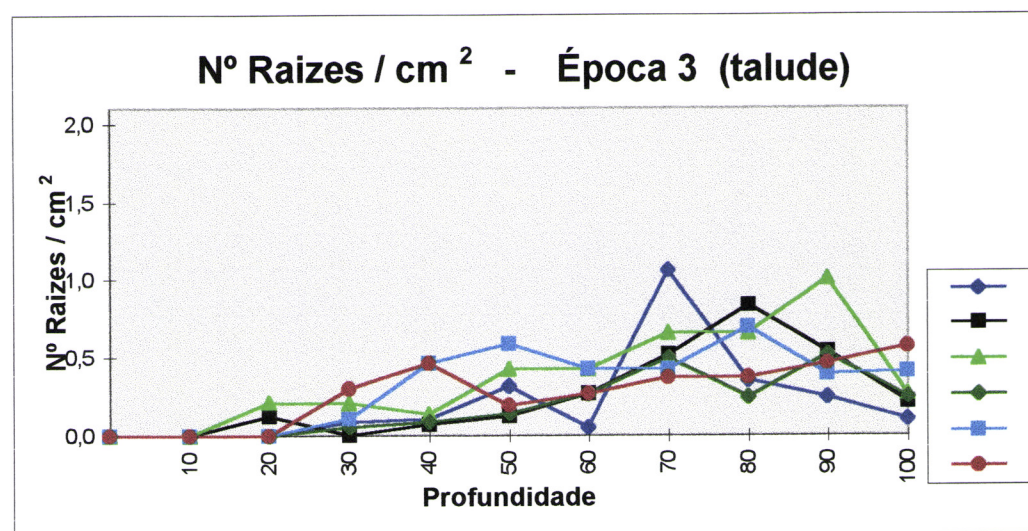
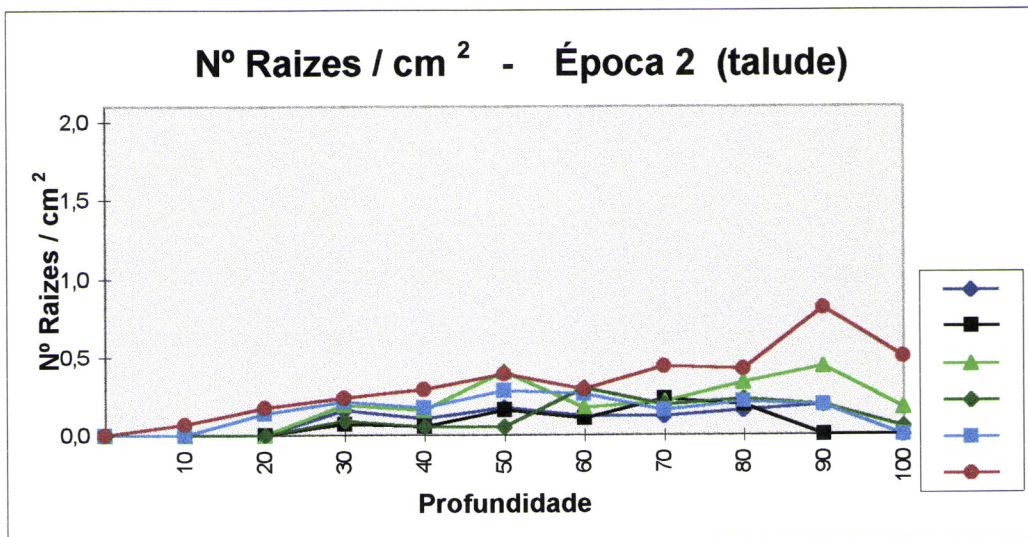
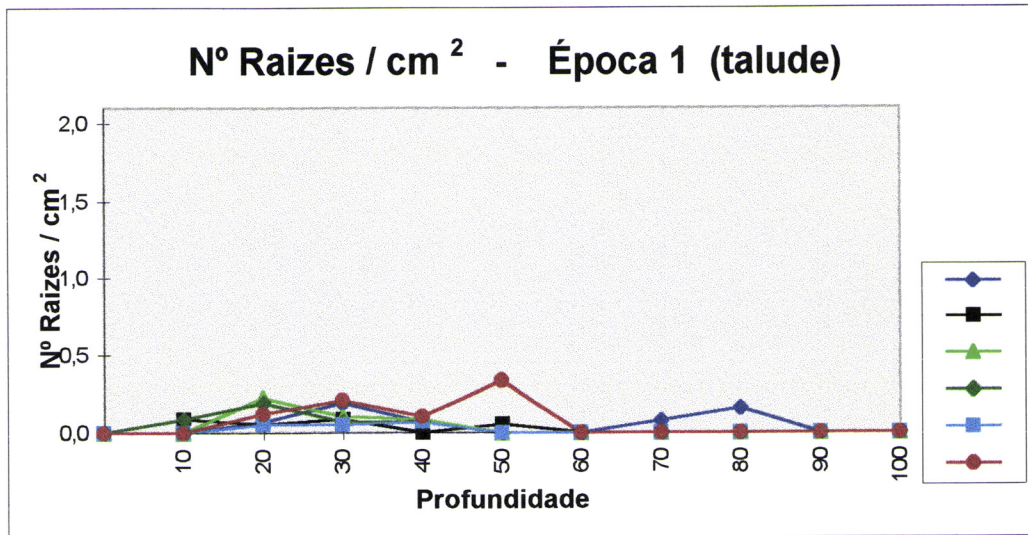


Figura 28 - Intensidade radical, para as várias modalidades, em cada nível de profundidade e por época, no talude.

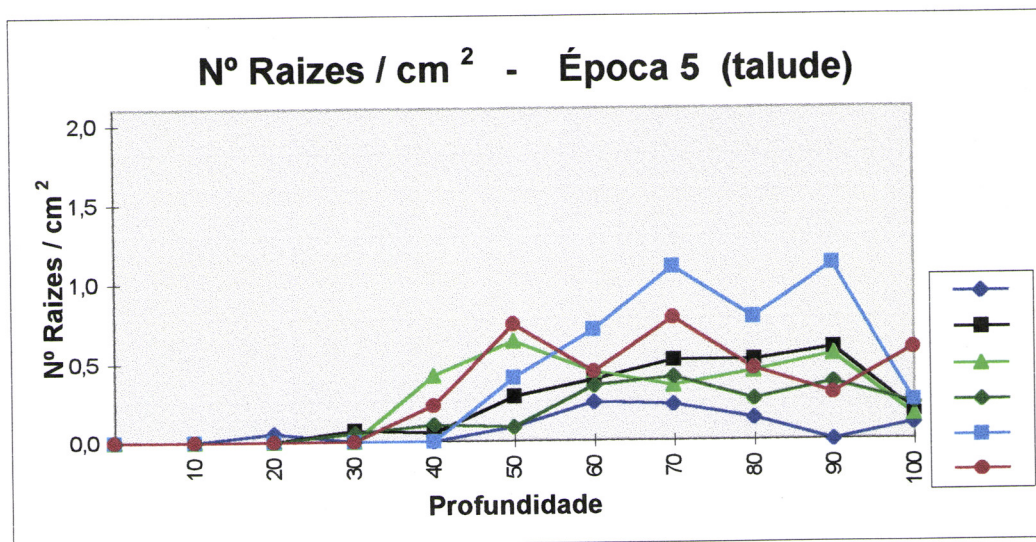
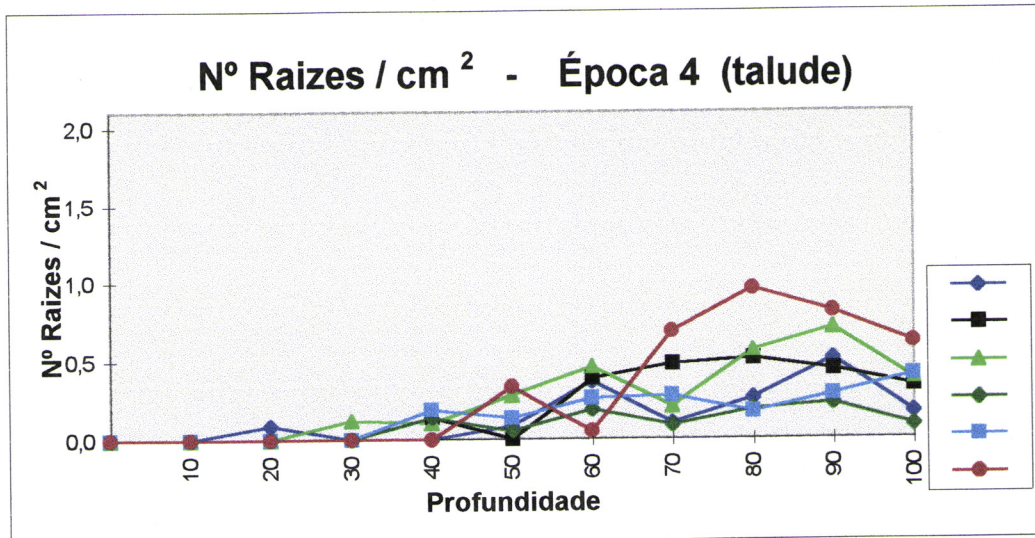


Figura 28 (cont.) - Intensidade radical, para as várias modalidades, em cada nível de profundidade e por época, no talude.

Quanto ao Talude (Figura 28), desprezando a 1ª época pelas razões já referidas, verificou-se um aumento progressivo da massa radical com a profundidade, à medida que o ensaio foi decorrendo. Nas 2ª e 4ª épocas destacou-se, pela maior quantidade de raízes, a modalidade 6 (Sequeiro); mas na última época de observação foi na modalidade 5 (Agricultor - recursos hídricos limitados) que se encontrou maior quantidade de raízes.

O facto de a cultura ter sido regada reduz, à partida, a proliferação das raízes nas camadas mais profundas. Segundo Gerwitz e Page (1974), citados por Klepper (1991), há uma diminuição exponencial do valor da Densidade Radical ( $\text{cm}/\text{cm}^2$ ) com a profundidade, em condições de rega frequente.

Num ensaio desenvolvido para estudar a expansão e o aprofundamento dos sistemas radicais em culturas de soja, milho e sorgo, submetidas aos regimes de sequeiro e regadio, Mayaki *et al.* (1976) concluíram que no primeiro caso apenas 39% de toda a matéria seca radical se concentrou nos 30 cm iniciais do perfil do solo. Mas através do fornecimento de água à cultura este valor aumentou para 64%. Importa referir que as observações foram efectuadas até aos 180 cm de profundidade, em três localizações: linha, entrelinha e a meia distância entre estas.

Também Roma (1995), no ensaio já referido, tinha observado uma tendência para a diminuição dos valores médios da  $IR_c$ , a partir dos 34 cm de profundidade, na modalidade sem subsolagem.

Contudo, no presente estudo, no Talude observou-se uma grande proliferação das raízes em profundidade. Este facto poderá ser interpretado como resultado de condições hídricas do solo que levaram ao aprofundamento do sistema radical. Foi com certeza este factor que teve maior influência no aprofundamento do sistema radical para a modalidade 6 (regime de sequeiro).

Também Newell e Wilhelm (1987), num trabalho com a cultura do milho sob diferentes quantidades de água aplicada e tipos de mobilização, avaliaram o impacto no desenvolvimento do sistema radical. Concluíram que a quantidade de água fornecida à cultura afectou a distribuição radical dentro do perfil do solo e o valor total da Densidade Radical (em comprimento), ocorrendo uma maior proliferação em profundidade no regime de sequeiro.

As equações de regressão múltipla para os dois locais estudados, Linha e Talude, são apresentadas no Quadro 8. As variáveis independentes, profundidade (p), dotações de água (a) e dias após sementeira (d) - esta última apenas significativa para a situação Talude - são relacionadas com a variável dependente, a Intensidade Radical (IR<sub>n</sub>). Na equação de regressão estabelecida para a linha, a Intensidade Radical não variou significativamente ao longo das épocas de observação (dias após sementeira).

Quadro 8 - Relação entre o n° de dias após sementeira, a profundidade e a dotação de rega vs. Intensidade Radical (IR<sub>n</sub>)

Variável dependente	Variáveis indep.	Equações	n	R <sup>2</sup>	P
Intensidade Radical na Linha	Prof. (p) Água (a)	$IR_n = 0,397697 p - 0,03225 p^2 - 0,00066 a$	298	-	0,0000
Intensidade Radical no Talude	Dias (d) Prof. (p) Água (a)	$IR_n = 0,131988 + 0,001564 d + 0,0246700 p - 0,00041 a$	217	0,282	0,0000

A análise de variância sequencial, para as duas situações estudadas, é apresentada no Quadro 9.

Quadro 9 - Análise de variância sequencial

	Fonte	N° parâm.	g.l.	S.Q.	F	Prob. > F
Linha	Polin. (prof, 2)	2	2	154,98796	738,7280	0,0000
	Água	1	1	4,85711	46,3016	0,0000
Talude	Dias	1	1	1,0345593	29,1685	0,0000
	Prof.	1	1	0,8608339	24,2704	0,0000
	Água	1	1	1,0738101	30,2751	0,0000

Estes dois modelos de enraizamento da cultura, são apenas válidos para a situação estudada e para as variáveis consideradas.



### 3.3. Calibração do método do mini-rizotróo

Tal como foi referido em 2.6., para a calibração do método do mini-rizotróo determinaram-se os coeficientes de correlação linear entre os dois pares de variáveis mencionados.

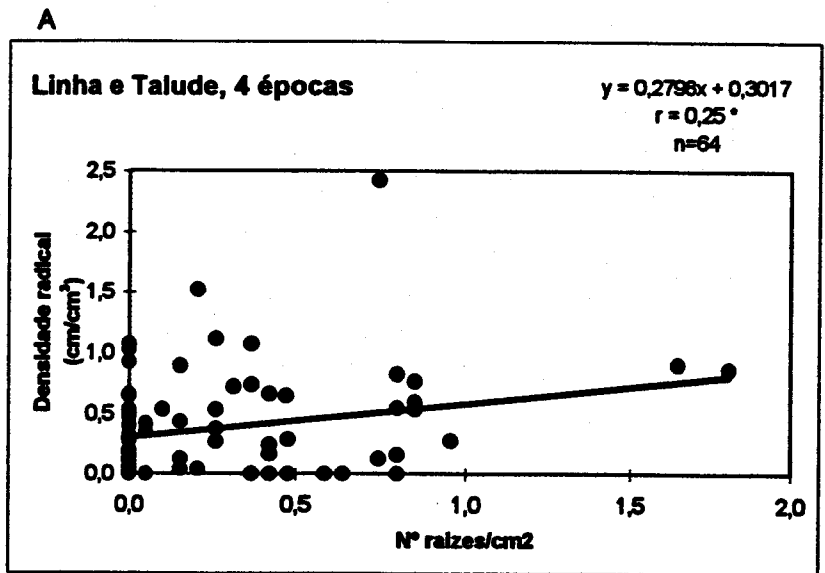
Em relação ao par de variáveis:  $IR_n$  (Nº raízes/cm<sup>2</sup>) e  $DR_c$  (cm/cm<sup>3</sup>) obteve-se um coeficiente de correlação de 0.25, valor significativo para um total de 64 pares de valores. No que respeita ao par de variáveis :  $IR_c$  (cm/cm<sup>2</sup>) e  $DR_c$  (cm/ cm<sup>3</sup>) o valor de  $r$  (0.40) é altamente significativo, para o mesmo número de observações. Os 64 pares de valores considerados correspondem à totalidade das determinações efectuadas, tanto na Linha como no Talude e nas 4 épocas para o efeito consideradas (épocas 1,2,4 e 5) (Figura 29, A e B).

Vos e Groenwold (1983), num ensaio com trigo (*triticum aestivum* L.) obtiveram uma equação de regressão linear ( $y = 0.04 + 0.29 x$ ), para 37 observações, com coeficiente de correlação de 0.76. Os referidos autores, em 1987, desenvolveram mais 4 ensaios com a mesma cultura, tendo obtido valores de  $r$  que consideraram elevados (superiores a 0.70).

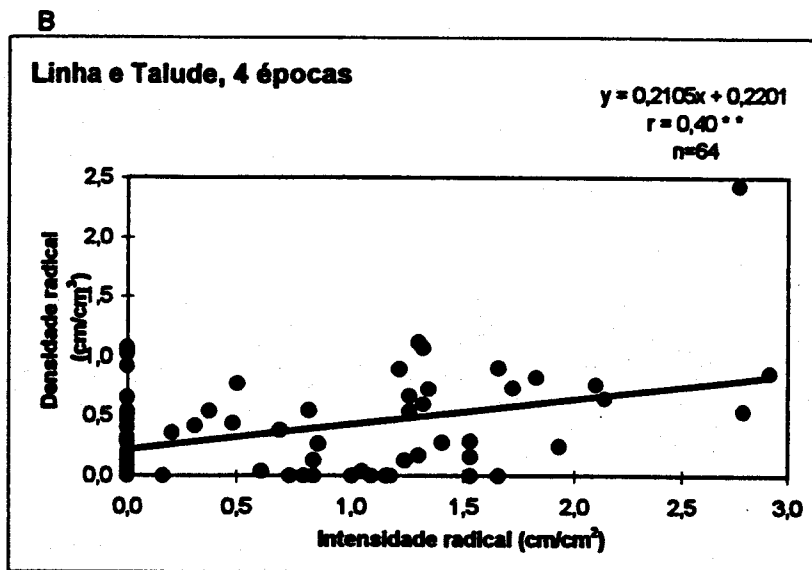
Num ensaio com milho (*Zea mays* L.) num solo argiluiado, Roma (1995) obteve uma equação de regressão linear ( $y = 0.0684 + 0.8305 x$ ) para um conjunto de 48 observações, com um coeficiente de correlação de 0.88, tendo concluído que o método em estudo foi bastante fiável na avaliação da Densidade Radical ao longo do perfil do solo.

No mesmo solo, mas com a cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.), Ramos (1995) também obteve equações de regressão linear quando correlacionou os mesmos pares de variáveis que no presente trabalho, encontrando os valores de  $r$ : 0.69 e 0.73, respectivamente para as relações:  $IR_n / DR_c$  e  $IR_c / DR_c$ .

A calibração feita, considerando individualmente os dados da Linha e do Talude, apenas apresenta valores significativos de coeficiente de correlação para a situação Linha e para o par de valores  $IR_c / DR_c$  (Figura 30).



\* - Significativo



\*\* - Muito significativo

Figura 29 - Calibração do método do mini-rizotrão, considerando todos os valores (Linha e Talude) obtidos nas 4 épocas, para todas as profundidades: A - IR<sub>n</sub> / DR<sub>c</sub>; B - IR<sub>c</sub> / DR<sub>c</sub>.

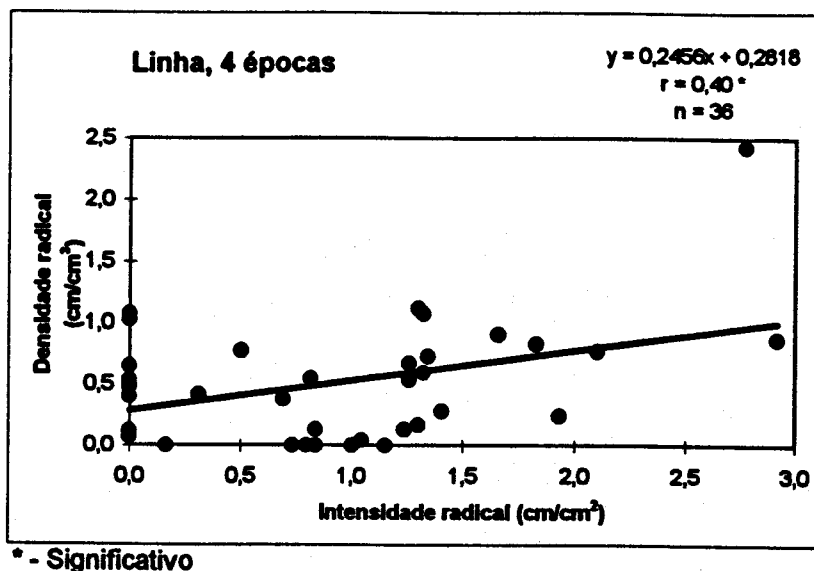


Figura 30 - Calibração do método do mini-rizotrão, para o par de variáveis  $IR_c / DR_c$ , considerando todos os valores da Linha obtidos nas 4 épocas, para todas as profundidades.

Quando se analisa separadamente cada época de observação, nas submodalidades Linha e Talude, de um modo geral verifica-se que os valores de  $r$  não são significativos, em parte devido ao pequeno número de valores considerados.

Parker *et al* (1991) também constataram a instabilidade da relação existente entre os valores provenientes dos dois métodos, ao longo do período de ensaio.

Numa abordagem diferente, Samson e Sinclair (1994) compararam os declives das rectas correspondentes ao  $N^\circ$  de raízes/cm<sup>2</sup> e da Densidade Radical (cm/cm<sup>3</sup>), ambos em função da profundidade, tendo obtido resultados consistentes com os obtidos por outros autores quando utilizam a calibração feita de forma idêntica à do presente trabalho.

Estes autores apenas obtiveram uma boa correspondência entre os dados provenientes das observações com o mini-rizotrão e da amostragem de solo + raízes, quando desprezaram os valores relativos às camadas superficiais do solo, concretamente até aos 30 cm de profundidade.

Deste modo, no presente estudo, procedeu-se também à determinação dos coeficientes de correlação excluindo os dados referentes às 3 primeiras camadas de

solo (0 - 30 cm). Em relação ao par de variáveis obteve-se um valor de  $r$  de 0.32 que é significativo para o conjunto de 42 observações feitas. Para o outro par de variáveis  $IR_c / DR_c$ , o valor de  $r$  foi 0.58, muito significativo para o mesmo número de amostras (Figura 31, A e B).

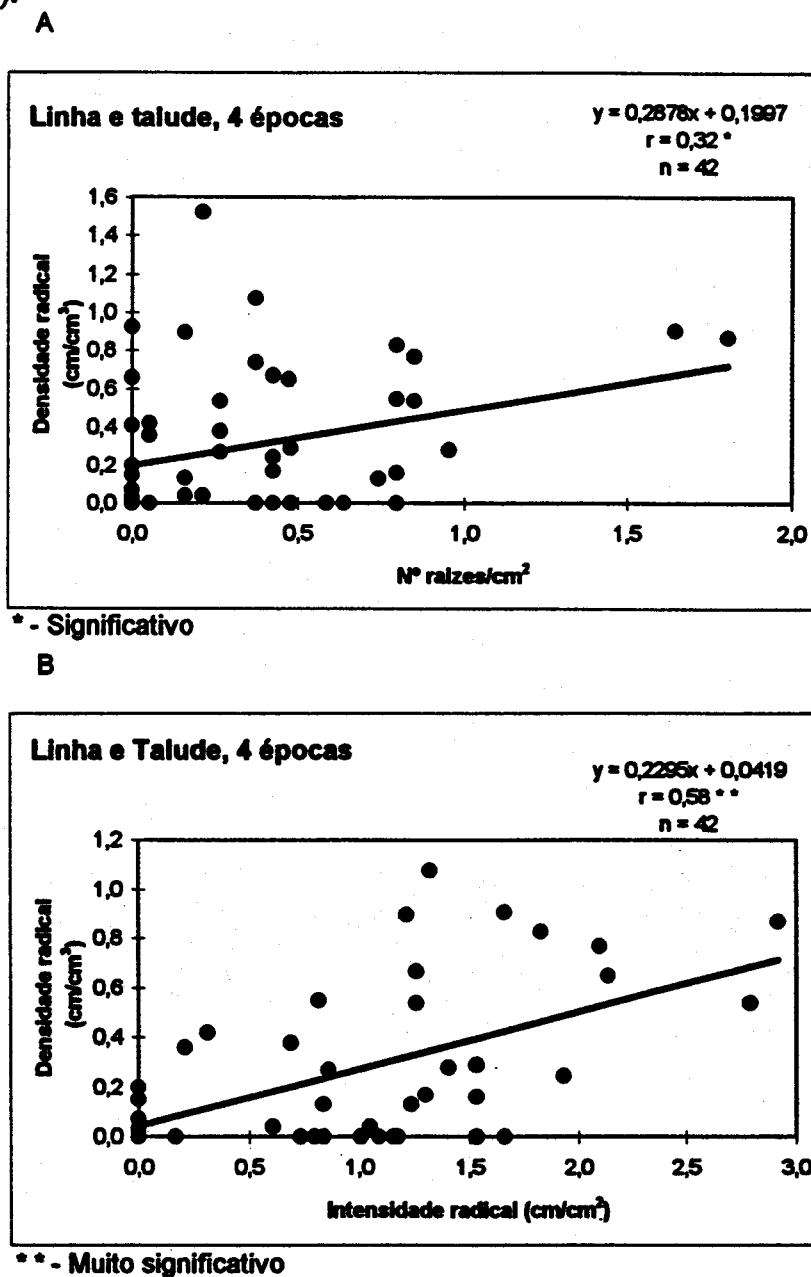


Figura 31 - Calibração do método do mini-rizotrão, considerando todos os valores (Linha e Talude) obtidos nas 4 épocas, para as profundidades abaixo dos 30 cm: A -  $IR_n / DR_c$ ; B -  $IR_c / DR_c$ .

A calibração feita para as camadas de solo abaixo dos 30 cm, mas considerando individualmente os dados da Linha e do Talude, apresenta um valor de  $r$  muito significativo para o par de variáveis  $IR_c / DR_c$  na Linha e significativo para o mesmo par de variáveis no Talude (Figuras 32 e 33).

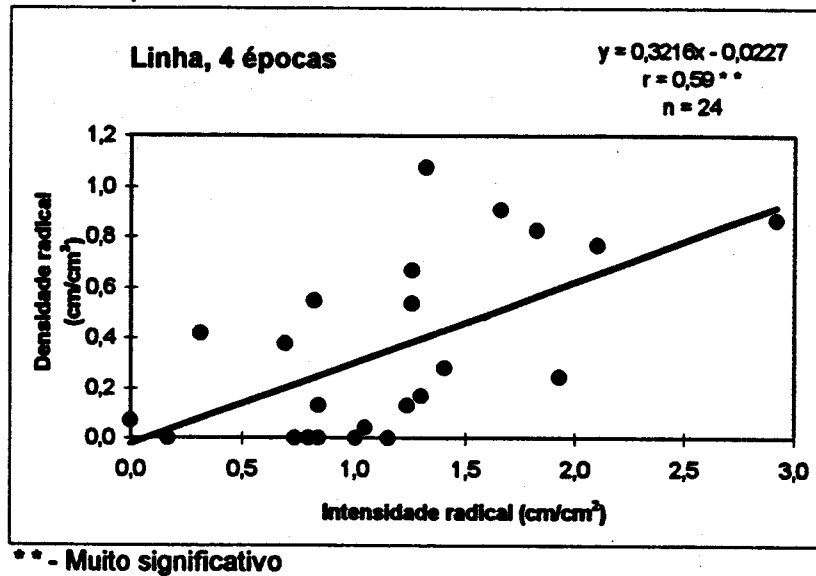


Figura 32 - Calibração do método do mini-rizotrão, para o par de variáveis  $IR_c / DR_c$ , considerando todos os valores da Linha obtidos nas 4 épocas, para as profundidades abaixo dos 30 cm.

Contudo, embora sejam superiores os valores dos coeficientes de correlação quando se consideram conjuntamente as épocas e os locais de amostragem excluindo as camadas superficiais, também nesta situação para a análise época a época (em cada submodalidade) poucos são os valores de  $r$  significativos.

Efectuando a calibração para os mesmos pares de variáveis, tendo agora em conta os valores correspondentes às 4 épocas, Linha e Talude, mas incluindo apenas valores relativos às três camadas superficiais (0 - 30 cm), totalizando 24 observações, os valores de  $r$  obtidos são os mais elevados, respectivamente 0.57 e 0.71 para  $IR_n / DR_c$  e  $IR_c / DR_c$ , ambos muito significativos (Figura 34, A e B).

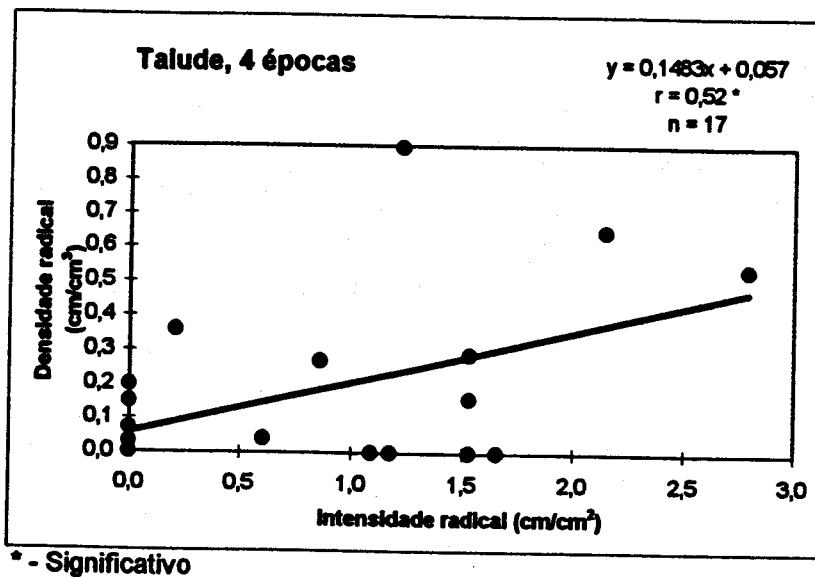
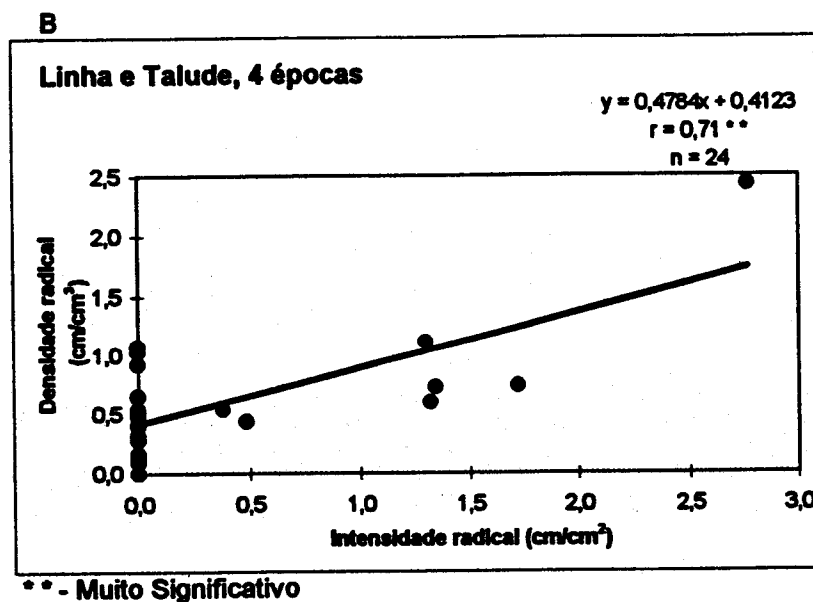
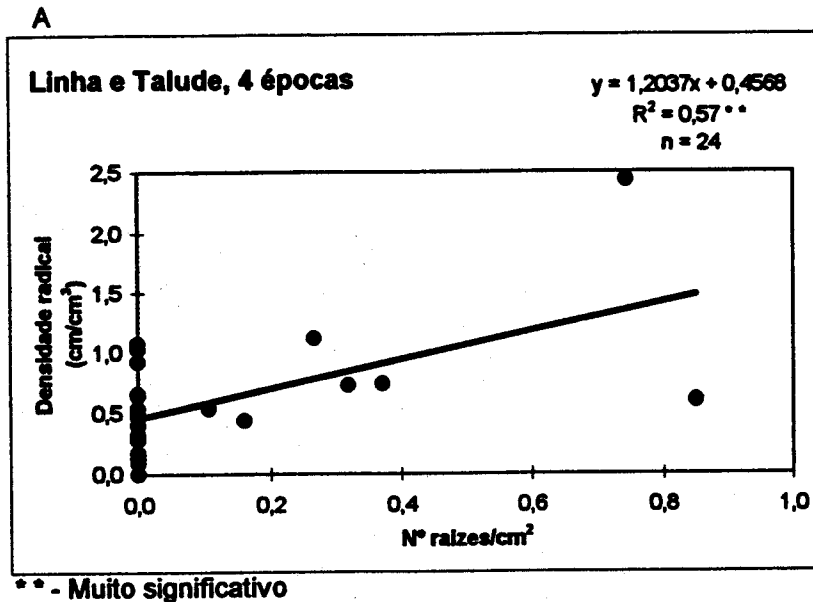


Figura 33 - Calibração do método do mini-rizotrão, para o par de variáveis  $IR_c / DR_c$ , considerando todos os valores do Talude obtidos nas 4 épocas, para as profundidades abaixo dos 30 cm.

No entanto, para a calibração feita igualmente nas 3 camadas superficiais, mas separando os valores da Linha e do Talude, apenas é significativo o valor do coeficiente de correlação relativo à situação Linha e para o par de variáveis  $IR_c / DR_c$  (Figura 35).



**Figura 34 - Calibração do método do mini-rizotrão, considerando todos os valores (Linha e Talude) obtidos nas 4 épocas, para os 30 cm superficiais do perfil do solo: A -  $IR_n / DR_c$ ; B -  $IR_c / DR_c$ .**

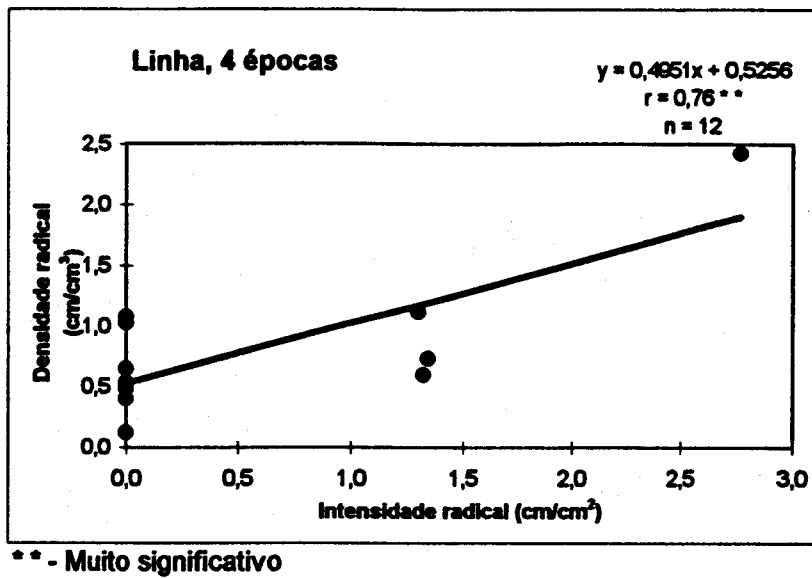


Figura 35 - Calibração do método do mini-rizotrão, para o par de variáveis  $IR_c / DR_c$ , considerando todos os valores da Linha obtidos nas 4 épocas, para os 30 cm superficiais do perfil do solo.



#### **4. CONCLUSÕES GERAIS**

##### **1.**

- A dinâmica do enraizamento do milho, avaliada a partir da Intensidade Radical ( $IR_n$ ), foi significativamente diferente para as 6 estratégias de rega, na situação Linha.
- No Talude as diferenças entre as modalidades não foram significativas.
- Quanto às diferenças entre épocas, não foram significativas na Linha, mas foram muito significativas no Talude.
- Os modelos definidos no Quadro 8, para as situações Linha e Talude, são uma primeira tentativa de modelar o enraizamento da cultura em função das variáveis estudadas e como tal são apenas válidos para a situação estudada: Solo x Clima x Cultura x Práticas Culturais.

##### **2.**

- De uma forma geral, verificou-se que, para a situação Linha, a profundidade de enraizamento máximo ocorreu cerca dos 50 - 60 cm, nas duas primeiras épocas de observação, e dos 60 - 70 cm nas épocas restantes.
- Por norma, comparativamente com a Linha, a  $IR_n$  determinada no Talude foi inferior. Contudo, nesta situação, a partir da 3ª época, inclusive, observou-se uma quantidade apreciável de raízes nas camadas mais profundas.

##### **3.**

- Do mesmo modo se concluiu que as diferentes estratégias de rega influenciaram os rendimentos finais da cultura, sendo a modalidade 4 (Agricultor - recursos hídricos ilimitados) a mais produtiva (11.6 t/ha).

#### 4.

- A calibração do método do mini-rizotrão, por comparação com dados obtidos em amostras de solo + raízes, colhidas com sonda, permitiu a obtenção de equações de regressão linear. Quanto aos coeficientes de correlação, estes foram apenas significativos para o par de variáveis  $IR_n / DR_c$ , em duas situações: quando se consideraram todas as observações feitas nas várias épocas e locais, e quando das mesmas se excluíram os valores referentes aos 30 cm superficiais. Os valores de  $r$  foram muito significativos quer para o par de variáveis  $IR_c / DR_c$ , nas duas situações referidas, quer para ambos os pares de variáveis, quando a calibração foi efectuada para os 30 cm superficiais, reunindo as várias épocas e locais.
- De um modo geral, quando se consideraram separadamente as diferentes épocas, na Linha e no Talude, os valores de  $r$  não foram significativos.
- A calibração efectuada individualizando os dados da Linha e do Talude, por norma também não conduziu a valores de  $r$  significativos.
- Em todas as situações estudadas foi com o par de variáveis  $IR_c / DR_c$  que se obtiveram valores de  $r$  mais elevados.
- Destacaram-se as correlações muito significativas obtidas quando se consideraram apenas os 30 cm superficiais, contrariamente ao observado por outros autores, facto este que constitui uma das principais críticas ao método do mini-rizotrão.

## BIBLIOGRAFIA

- Baver L.D.; Gardner, W.H.; Gardner, W.R.- Física de suelos. México, Union Tipografica Editorial Hispano-Americana, 1973.
- Bock, R.D. - Multivariate statistical methods in behavioral research. New York. McGraw - Hill Book Company, 1975.
- Böhm, W. - Methods of studying root systems. "Ecological Studies", 33. New York, Springer-verlag, 1979.
- Cabelguenne, M.; Jones, C.A.; Marty, J.R.; Quinones, H. - Contribution à l'étude des rotations culturales : tentative d'utilisation d'un modèle. "Agronomie", 8 (6), 1988, p. 549-556.
- Cardoso, J.V.C. - Os solos de Portugal - sua classificação, caracterização e génese (1 - A Sul do tejo). Lisboa, Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, 1965.
- Chaudhary, M.R.; Prihar, S.S. - Root development and growth response of corn following mulching, cultivation or interrow compaction. "Agron. J.", 66, 1974, p. 350 - 355.
- Feio, M. - Clima e Agricultura - Exigências climáticas das principais culturas e potencialidades agrícolas do nosso país. Lisboa, Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação, 1991.
- Klepper, B. - Crop root system response to irrigation. "Irrig. Sci.", 12, 1991, p. 113 - 132.
- Maertens, C. - Ways of using endoscopy to determine growth and quality of root systems, In "Minirhizotron Observation Tubes. Methods and Applications for Measuring rhizosphere Dynamics", Madison, American Society of Agronomy, Special Publication Number 50, 1987.
- Mayaki, W.C.; Stone, L.R.; Teare, I.D. - Irrigated and nonirrigated soybean, corn and grain sorghum root system. "Agron. J.", 68, 1976, p. 532 - 534.
- Mengel, D.B.; Barber, S.A. - Development and distribution of the corn root system under field conditions. "Agron. J.", 66, 1974, p. 341 - 344.

- Merrill, S.D.; Doering, E.J.; Reichman, G.A. - Application of a minirhizotron with flexible, pressurized walls to a study of corn root growth, In "Minirhizotron Observation Tubes. Methods and Applications for Measuring rhizosphere Dynamics", American Society of Agronomy, Special Publication Number 50, 1987.
- Mexia, J.T. - Multi-Treatment Regression Designs. Trabalhos de Investigação, nº 1, Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Matemática, 1987.
- Morrison, D.F. - Multivariate statistical methods. New York, McGraw - Hill Book Company, 1976.
- Newell, R.L.; Wilhelm, W.W. - Conservation tillage and irrigation effects on corn root development. "Agron. J.", 79, 1987, p. 160 - 165.
- Oliveira, M.R.G. - A bio-obtenção: o papel do sistema radical e afins. Comunicação apresentada no curso internacional "Água e Ambiente", Évora, 1994. (Mimeografado).
- Oliveira, M.R.G.; Portas, C.A.M. - Acerca do enraizamento das plantas cultivadas. Aspectos pertinentes para as culturas olerícolas, in "Nutrição e Adubação de Hortaliças", Piraciaba (São Paulo), 1991, p. 15 - 49.
- Parker, C. J.; Carr, M.K.V.; Jarvis, N.J.; Puplampu, B.O.; Lee, V. H.- An evaluation of the minirhizotron technique for estimating root distribution in potatoes. " J. Agric. Sci.", 116, 1991, p. 341 - 350.
- Portas, C.A.M. - Acerca do sistema radical de algumas culturas hortícolas. Extracto publicado em "Plant and Soil", 39, 1973, p. 507 -518.
- Quinones, H.; Textier, V; Cabelguenne, M.; Blanchet, R.- Simulation du comportement hydrique du tournesol et ces répercussions sur la croissance et la production. "Les Points Science du CETIOM, 1990.
- Ramos, A.F. - Caracterização do enraizamento do girassol em função das condições hidropedológicas de um solo argiluvado sujeito à rega por sulcos. Évora, Universidade de Évora, 1995. (Relatório final do curso de Engenharia Agrícola). (Mimeografado).

- Reis, M.P.P.Z.R. - Desenvolvimento radical do milho (*Zea mays* L) numa situação de rega por sulcos longos em solos argiluvitados do Alentejo. Évora, Universidade de Évora, 1993. (Relatório final do curso de Engenharia Agrícola). (Mimeografado).
- Roma, J.J.S. - O método do minirizotróno no estudo do sistema radical das plantas. Utilização desta técnica num estudo sobre o efeito da subsolagem e drenagem no crescimento do sistema radical do milho (*Zea mays* L) num solo argiluvitado. Évora, Universidade de Évora, 1995. (Relatório final do curso de Engenharia Agrícola). (Mimeografado).
- Rowse, H.R., Philips, D.A. - An instrument for estimating the total length of root in a sample. "J. Appl. Ecol.", 11, 1974, p. 309 - 314, citado por Böhm (1979).
- Russell, R.S. - Plant root systems their function and interaction with the soil. London, McGraw-Hill Book Company, 1977.
- Samson, B.K.; Sinclair, T.R. - Soil core and minirhizotron comparison for the determination of root length density. "Plant and Soil", 161, 1994, p. 225 - 232.
- Santos, F.L., Serralheiro, R.P.; Santos, A.M.; Bica, M.A. - Maize tactical irrigation management in the southwest of Portugal using real time EPIC Model, in "Kid, FAO Workshop on irrigation scheduling: From theory to practice", Roma, 1995.
- Smucker, A.J.M., McBurney, S.L.; Srivastava, A.K. - Quantitative separation of roots from compacted soil profiles by the hydropneumatic elutriation system. "Agron. J.", 74, 1982, p. 500 - 503.
- Tennant, D. - A test of a modified Line Intersect Method of estimating root length. "J. Ecol.", 63, 1975, p. 995 - 1001.
- Upchurch, D.R.; Ritchie, J.T. - Root observation using a video recording system in mini-rhizotrons. "Agron. J.", 75, 1983, p. 1009 - 1015.
- Varela, J.S. - Condução Tática da Rega na Cultura do Milho: Tentativa de Utilização do Modelo EPICTPR. Évora, Universidade de Évora, 1996. (Relatório final do curso de Engenharia Agrícola). (Mimeografado).
- Vos, J.; Groenwold, J. - Estimation of root densities by observation tubes and endoscope. "Plant and Soil", 74, 1983, p. 295 - 300.

Williams, J.R.; Jones, C.A.; Dyke, P.T. - EPIC - Erosion / Productivity Impact Calculator (2. User Manual). United States Department of Agriculture - "ARS, Technical Bulletin", 1 768, s.d.

## **ANEXOS**

**A - Evolução do desenvolvimento da cultura.**

**B - Valores da Intensidade Radical (número de raízes por unidade de área superficial do tubo - N°/cm<sup>2</sup>), para cada modalidade, por nível de profundidade e por época - Linha e Talude.**

**C - Intensidade Radical (número de raízes por unidade de área superficial do tubo - N°/cm<sup>2</sup>) em função da profundidade - Linha e Talude.**

## ANEXO A

### Evolução do desenvolvimento da cultura

<b>Data</b>	<b>Fase do ciclo</b>
13.6	Germinação (50% das plantas nascidas)
16.5	2 folhas completamente emersas
22.5	3-4 folhas completamente emersas
2.6	4-5 folhas completamente emersas
9.6	5-6 folhas completamente emersas
12.6	6 folhas completamente emersas
16.6	6-7 folhas completamente emersas
23.6	7-8 folhas completamente emersas
30.6	8-9 folhas completamente emersas
7.7	9-11 folhas completamente emersas
17.7	Pré-Floração
31.7	Plena Floração
16.8	Início da fase leitosa
30.8	Grão Pastoso
12.9	Maturação fisiológica



## ANEXO B

Valores da Intensidade Radical (número de raízes por unidade de área superficial do tubo - N° / cm<sup>2</sup>), para cada modalidade, por nível de profundidade e por época - Linha.

MODALIDADE	PROFUNDIDADE (cm)	ÉPOCAS				
		E1	E2	E3	E4	E5
M1	10	0,160	0,231	0,266	0,000	0,000
	20	0,408	0,284	0,106	0,000	0,000
	30	0,744	0,407	0,372	0,053	0,000
	40	1,187	0,709	0,656	0,124	0,443
	50	1,968	1,365	1,276	0,815	0,815
	60	1,649	1,276	1,701	0,993	1,400
	70	1,064	1,028	1,135	0,851	1,737
	80	0,665	0,868	0,833	0,496	0,993
	90	0,346	0,798	0,833	0,390	0,674
	100	0,160	0,443	0,638	0,319	0,248
	110	0,080	0,301	0,910	0,266	0,337
M2	10	0,124	0,301	0,000	0,000	0,000
	20	0,532	0,461	0,000	0,053	0,053
	30	0,886	0,620	0,506	0,319	0,124
	40	1,365	1,294	1,135	0,390	0,709
	50	1,081	1,400	0,851	0,727	0,567
	60	0,656	1,028	0,727	0,337	0,957
	70	0,656	0,833	0,816	0,372	0,992
	80	0,674	0,816	0,567	0,284	0,824
	90	0,425	0,620	0,284	0,106	0,691
	100	0,461	0,603	0,124	0,195	0,443
	110	0,337	0,301	0,089	0,000	0,000
M3	10	0,000	0,000	0,177	0,071	0,000
	20	0,284	0,195	0,638	0,142	0,000
	30	0,762	0,373	0,319	0,124	0,479
	40	1,170	0,674	0,478	0,301	1,099
	50	1,613	0,851	0,798	0,390	1,010
	60	1,064	0,727	0,585	0,620	1,400
	70	0,718	0,940	0,904	0,656	1,099
	80	0,195	0,851	0,762	0,106	1,099
	90	0,186	0,816	0,638	0,461	1,028
	100	0,160	0,567	0,461	0,674	0,425
	110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,142
M4	10	0,089	0,106	0,053	0,000	0,000
	20	0,479	0,089	0,000	0,053	0,000
	30	0,621	0,071	0,000	0,000	0,000
	40	1,028	0,266	0,160	0,160	0,213
	50	1,276	0,585	0,797	0,514	0,532
	60	0,762	0,479	0,709	0,673	0,762
	70	1,081	0,532	0,353	0,301	0,709
	80	0,691	0,665	0,355	0,390	0,691
	90	0,461	0,505	0,620	0,390	0,549
	100	0,142	0,160	0,142	0,041	0,195
	110	0,089	0,071	0,319	0,000	0,372

### ANEXO B (cont.)

Valores da Intensidade Radical (número de raízes por unidade de área superficial do tubo - N° / cm<sup>2</sup>), para cada modalidade, por nível de profundidade e por época - Linha (cont.).

MODALIDADE	PROFUNDIDADE (cm)	ÉPOCAS				
		E1	E2	E3	E4	E5
M5	10	0,106	0,195	0,000	0,000	0,195
	20	0,744	0,496	0,408	0,248	0,159
	30	0,709	0,904	0,921	0,195	0,319
	40	1,152	0,887	0,833	0,727	0,585
	50	1,011	0,798	1,578	1,134	1,595
	60	1,471	1,188	1,773	1,595	1,453
	70	0,830	0,549	1,507	1,170	2,021
	80	0,443	0,461	1,453	0,798	1,719
	90	0,638	0,603	1,294	0,975	1,046
	100	0,159	0,674	0,602	0,585	1,277
	110	0,266	0,195	0,337	0,000	0,372
M6	10	0,425	0,408	0,124	0,000	0,177
	20	0,797	0,585	0,230	0,213	0,000
	30	1,188	0,745	0,390	0,213	0,567
	40	1,365	0,745	1,436	0,514	0,709
	50	1,294	1,099	1,595	0,975	1,400
	60	1,631	1,382	0,904	0,993	1,418
	70	0,780	1,276	0,727	0,992	1,666
	80	0,656	0,922	0,904	1,524	0,957
	90	0,355	0,904	1,010	1,099	0,797
	100	0,372	0,638	0,425	0,869	1,081
	110	0,124	0,319	0,230	0,124	0,869

**ANEXO B (cont.)**

Valores da Intensidade Radical (número de raízes por unidade de área superficial do tubo - N° / cm<sup>2</sup>), para cada modalidade, por nível de profundidade e por época - Talude.

MODALIDADE	PROFUNDIDADE (cm)	ÉPOCAS				
		E1	E2	E3	E4	E5
M1	10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	20	0,071	0,000	0,000	0,089	0,053
	30	0,195	0,160	0,088	0,000	0,000
	40	0,071	0,106	0,106	0,000	0,000
	50	0,000	0,177	0,319	0,088	0,089
	60	0,000	0,124	0,053	0,372	0,248
	70	0,080	0,124	1,064	0,106	0,230
	80	0,160	0,160	0,355	0,266	0,142
	90	0,000	0,195	0,248	0,514	0,000
	100	0,000	0,000	0,106	0,177	0,106
	110	0,000	0,000	0,560	0,071	0,053
M2	10	0,089	0,000	0,000	0,000	0,000
	20	0,053	0,000	0,124	0,000	0,000
	30	0,089	0,071	0,000	0,000	0,071
	40	0,000	0,053	0,071	0,142	0,053
	50	0,053	0,160	0,124	0,000	0,284
	60	0,000	0,106	0,266	0,390	0,390
	70	0,000	0,231	0,514	0,479	0,514
	80	0,000	0,195	0,833	0,514	0,514
	90	0,000	0,000	0,532	0,443	0,585
	100	0,000	0,000	0,213	0,337	0,177
	110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053
M3	10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	20	0,230	0,000	0,213	0,000	0,000
	30	0,106	0,195	0,212	0,124	0,000
	40	0,089	0,160	0,142	0,106	0,425
	50	0,000	0,408	0,425	0,284	0,638
	60	0,000	0,177	0,425	0,461	0,443
	70	0,000	0,213	0,654	0,213	0,354
	80	0,000	0,337	0,656	0,567	0,443
	90	0,000	0,443	1,010	0,709	0,549
	100	0,000	0,177	0,266	0,390	0,159
	110	0,000	0,000	0,248	0,656	0,000
M4	10	0,089	0,000	0,000	0,000	0,000
	20	0,195	0,000	0,000	0,000	0,000
	30	0,071	0,089	0,053	0,000	0,053
	40	0,071	0,053	0,088	0,142	0,106
	50	0,000	0,053	0,142	0,053	0,089
	60	0,000	0,301	0,266	0,195	0,355
	70	0,000	0,195	0,496	0,089	0,408
	80	0,000	0,231	0,248	0,195	0,266
	90	0,000	0,195	0,514	0,230	0,372
	100	0,000	0,053	0,248	0,089	0,230
	110	0,000	0,000	0,248	0,195	0,337

### ANEXO B (cont.)

Valores da Intensidade Radical (número de raízes por unidade de área superficial do tubo - Nº / cm<sup>2</sup>), para cada modalidade, por nível de profundidade e por época - Talude (cont.).

MODALIDADE	PROFUNDIDADE (cm)	ÉPOCAS				
		E1	E2	E3	E4	E5
M5	10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	20	0,053	0,142	0,000	0,000	0,000
	30	0,053	0,213	0,106	0,000	0,000
	40	0,071	0,177	0,461	0,195	0,000
	50	0,000	0,284	0,585	0,142	0,408
	60	0,000	0,266	0,425	0,266	0,709
	70	0,000	0,160	0,425	0,283	1,099
	80	0,000	0,213	0,691	0,177	0,780
	90	0,000	0,195	0,390	0,284	1,117
	100	0,000	0,000	0,408	0,408	0,248
	110	0,000	0,000	0,319	0,372	0,461
M6	10	0,000	0,071	0,000	0,000	0,000
	20	0,124	0,177	0,000	0,000	0,000
	30	0,213	0,240	0,301	0,000	0,000
	40	0,106	0,293	0,461	0,000	0,231
	50	0,337	0,390	0,195	0,337	0,744
	60	0,000	0,293	0,266	0,053	0,443
	70	0,000	0,443	0,372	0,691	0,780
	80	0,000	0,425	0,372	0,957	0,461
	90	0,000	0,815	0,461	0,815	0,302
	100	0,000	0,505	0,567	0,621	0,585
	110	0,000	0,000	0,319	0,354	0,142

## ANEXO C

Intensidade Radical (número de raízes por unidade de área superficial do tubo - N°/cm<sup>2</sup>) em função da profundidade - Linha.

Época	Modalidade	N° de raízes/cm <sup>2</sup> Função (x=profundidade)	n	r <sup>2</sup>
E1	M1	$y = -0,0571x^2 + 0,6437x - 0,4702$	11	0,74 **
	M2	$y = -0,0266x^2 + 0,2979x + 0,0928$	11	0,54 **
	M3	$y = -0,0444x^2 + 0,4867x - 0,3186$	11	0,66 **
	M4	$y = -0,0394x^2 + 0,4487x - 0,2673$	11	0,84 **
	M5	$y = -0,0364x^2 + 0,4059x - 0,0781$	11	0,68 **
	M6	$y = -0,0389x^2 + 0,3977x + 0,2215$	11	0,76 **
E2	M1	$y = -0,0380x^2 + 0,4757x - 0,4044$	11	0,79 **
	M2	$y = -0,0336x^2 + 0,3950x - 0,0701$	11	0,73 **
	M3	$y = -0,0340x^2 + 0,4374x - 0,5164$	11	0,90 **
	M4	$y = -0,0196x^2 + 0,2553x - 0,3076$	11	0,68 **
	M5	$y = -0,0242x^2 + 0,2782x + 0,0742$	11	0,56 **
	M6	$y = -0,0333x^2 + 0,4071x - 0,0888$	11	0,84 **
E3	M1	$y = -0,0350x^2 + 0,4732x - 0,4556$	11	0,63 **
	M2	$y = -0,0364x^2 + 0,4282x - 0,4329$	11	0,75 **
	M3	$y = -0,0237x^2 + 0,2845x - 0,0941$	11	0,64 **
	M4	$y = -0,0172x^2 + 0,2395x - 0,3291$	11	0,47 **
	M5	$y = -0,0586x^2 + 0,7468x - 0,8103$	11	0,91 **
	M6	$y = -0,0421x^2 + 0,5167x - 0,4376$	11	0,62 **
E4	M1	$y = -0,0270x^2 + 0,3642x - 0,5508$	11	0,63 **
	M2	$y = -0,0189x^2 + 0,2214x - 0,2044$	11	0,67 **
	M3	$y = -0,0148x^2 + 0,2015x - 0,2070$	11	0,40 *
	M4	$y = -0,0200x^2 + 0,2529x - 0,3663$	11	0,64 **
	M5	$y = -0,0490x^2 + 0,6227x - 0,8087$	11	0,80 **
	M6	$y = -0,0383x^2 + 0,5312x - 0,7443$	11	0,75 **
E5	M1	$y = -0,0463x^2 + 0,6166x - 0,9658$	11	0,65 **
	M2	$y = -0,0350x^2 + 0,4547x + 0,6382$	11	0,84 **
	M3	$y = -0,0501x^2 + 0,6390x - 0,8217$	11	0,89 **
	M4	$y = -0,0210x^2 + 0,3012x - 0,4757$	11	0,72 **
	M5	$y = -0,0526x^2 + 0,7244x - 0,9496$	11	0,73 **
	M6	$y = -0,0361x^2 + 0,5169x - 0,5654$	11	0,72 **

\* P<0,05    \*\* P<0,01    ns P>0,05

ANEXO C (cont.)

Intensidade Radical (número de raízes por unidade de área superficial do tubo - N°/cm<sup>2</sup>) em função da profundidade - Talude.

Época	Modalidade	N° de raízes/cm <sup>2</sup> Função (x=profundidade)	n	r <sup>2</sup>
E1	M1	$y = -0,0022x^2 + 0,0207x + 0,0290$	11	0,15 ns
	M2	$y = 0,0013x^2 - 0,0241x + 0,1120$	11	0,71 **
	M3	$y = 0,0009x^2 - 0,0232x + 0,1383$	11	0,34 ns
	M4	$y = 0,0023x^2 - 0,0424x + 0,1858$	11	0,69 **
	M5	$y = -0,0002x^2 - 0,0024x + 0,0392$	11	0,31 ns
	M6	$y = -0,0037x^2 + 0,0286x + 0,0677$	11	0,29 ns
E2	M1	$y = -0,0069x^2 + 0,0847x - 0,0924$	11	0,65 **
	M2	$y = -0,0072x^2 + 0,0871x - 0,1196$	11	0,58 **
	M3	$y = -0,0116x^2 + 0,1533x - 0,1966$	11	0,57 **
	M4	$y = -0,0081x^2 + 0,1060x - 0,1592$	11	0,58 **
	M5	$y = -0,0100x^2 + 0,1135x - 0,0724$	11	0,81 **
	M6	$y = -0,0124x^2 + 0,1760x - 0,1538$	11	0,43 **
E3	M1	$y = -0,0082x^2 + 0,1435x - 0,2197$	11	0,28 ns
	M2	$y = -0,0144x^2 + 0,2077x - 0,3413$	11	0,42 *
	M3	$y = -0,0156x^2 + 0,2335x - 0,2973$	11	0,53 *
	M4	$y = -0,0067x^2 + 0,1198x - 0,1996$	11	0,66 **
	M5	$y = -0,0158x^2 + 0,2288x - 0,3020$	11	0,77 **
	M6	$y = -0,0062x^2 + 0,1141x - 0,0973$	11	0,63 **
E4	M1	$y = -0,0057x^2 + 0,0942x - 0,1486$	11	0,36 ns
	M2	$y = -0,0123x^2 + 0,1833x - 0,3234$	11	0,54 **
	M3	$y = -0,0021x^2 + 0,0925x - 0,1408$	11	0,78 *
	M4	$y = -0,0024x^2 + 0,0479x - 0,0712$	11	0,61 **
	M5	$y = -0,0011x^2 + 0,0541x - 0,0788$	11	0,84 **
	M6	$y = -0,0085x^2 + 0,1837x - 0,3624$	11	0,59 **
E5	M1	$y = -0,0052x^2 + 0,0705x - 0,1004$	11	0,37 *
	M2	$y = -0,0155x^2 + 0,2191x - 0,3624$	11	0,64 **
	M3	$y = -0,0212x^2 + 0,2725x - 0,3876$	11	0,69 **
	M4	$y = -0,0049x^2 + 0,0976x - 0,1563$	11	0,74 **
	M5	$y = -0,0210x^2 + 0,3333x - 0,5939$	11	0,58 **
	M6	$y = -0,0198x^2 + 0,2777x - 0,4215$	11	0,61 **

\* P<0,05    \*\* P<0,01    ns P>0,05

